Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee

(ehemaliger Tagebau Werminghoff I)

gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung

Prüfung der Geeignetheit der geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen

---

Objekt: TO 050 Tagebaurestloch Knappensee

Lage: Freistaat Sachsen
Landkreis Bautzen

Auftraggeber: LMBV mbH
Sanierungsbereich Lausitz
Knappenstraße 1
01968 Senftenberg
Tel. 03573 84-0

Auftragnehmer: **ARGE Werminghoff**

G.U.B. Ingenieur AG
- Hauptniederlassung Zwickau -
Katharinenstraße 11
08056 Zwickau
Tel.: 0375 27175-0
Fax: 0375 27175-1299
E-Mail: info@gub-ing.de
Internet: www.gub-ing.de

BIUG GmbH
Freiberg
Weisbachstraße 6
09599 Freiberg
Tel.: 03731 2601-0
Fax: 03731 2601-23
info@biug-geotechnik.de
www.biug-geotechnik.de

verantwortliche Bearbeiter:
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Projekt-Nr.: XXXXXXXXXXXX

Zwickau, Freiberg, 02.08.2013

.....	.....
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Hinweis zur Veröffentlichung

Die vorliegende Unterlage zur Geeignetheit von Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee wurde für die Veröffentlichung bezüglich folgender Aspekte nachbearbeitet:

Kostenangaben

Die in der Unterlage aufgeführten Maßnahmen bilden die Voraussetzungen für z. T. europaweite Ausschreibungen. Aus diesem Grund wurden alle Kostenangaben in der Unterlage unkenntlich gemacht und mit XXXX versehen.

Bearbeiterangaben

Bearbeiterangaben wurden aus Gründen des Datenschutzes unkenntlich gemacht und mit XXXX versehen.

Sämtliche Rückfragen zur Unterlage sind entweder an die Lausitzer- und Mitteldeutsche Bergbauverwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) in Senftenberg oder an das Sächsische Oberbergamt (SächsOBA) in Freiberg zu stellen. Auskünfte zur vorliegenden Unterlage können somit mündlich oder schriftlich nur durch die LMBV oder das SächsOBA erteilt werden.

Inhaltsverzeichnis

Seite

Deckblatt

Titelblatt

Inhaltsverzeichnis

Anlagenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1 Veranlassung und Aufgabenstellung 17

1.1 Aufgabenstellung der Prüfung der Geeignetheit der geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen 17

1.2 Gefahrensituation und Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen 19

2 Arbeitsunterlagen 20

3 Grundlagen der Bearbeitung 27

3.1 Lage und Beschreibung des Bearbeitungsgebietes 27

3.2 Technologische und historische Entwicklung des Bearbeitungsgebietes 28

3.3 Geologische Situation und Kippenverhältnisse 28

3.4 Hydrogeologische Verhältnisse 30

3.5 Gefährdungssituation 31

3.6 Definition Sicherheitslinie 41

3.7 Geplante Sicherungs- und Gefahrenabwehrmaßnahmen (Übersicht) 42

3.8 Lage- und Höhenbezugssysteme 45

4 Definition der Ziele der Gefahrenabwehrmaßnahmen 46

5 Varianten zu Maßnahmen der Gefahrenabwehr 50

5.1 Risikobewertung 50

5.2 Sicherungs- und Sanierungsvarianten 53

5.2.1 Übersicht 54

5.2.2 Variante 1: Großräumiges Absenken des Kippenwasserspiegels 57

5.2.3 Variante 2: Herstellen eines Stützkörpers (Versteckter Damm) 58

5.2.4 Variante 3: Verdichten der Kippenbereiche mittels Luft-Impuls-Verfahren 71

5.2.5 Variante 4: Flächenhaftes Verdichten der Kippenbereiche mittels Sprengverdichtung 72

5.2.6 Variante 5: Sicherung der Kippenbereiche mittels Injektionen (HDI, Wasserglas oder Schaum) 73
5.2.7 Variante 6: Sperrung des Sees und der Kippenflächen 74
5.2.8 Variante 7: Sperrung von Teilflächen und teilweise Sicherung 75
5.2.9 Variante 8: Verfüllung des Sees 76
5.2.10 Variante 9: Aushub der zur Verflüssigung neigenden Kippenmaterialien 77
5.2.11 Varianten zur Vermeidung von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung 77
5.3 Bewertung der untersuchten allgemeinen Sicherungsverfahren-und Ableitung der technologischen Vorzugsvarianten 79
5.3.1 Ableitung Grundsatzvarianten 79
5.3.2 Ableitung der abschnittsbezogenen speziellen Alternativvarianten 81

6 Bereichsweise Alternativenprüfung 82
6.1 Grundlagen und Randbedingungen der Alternativenprüfung 82
6.1.1 Allgemein 82
6.1.2 Speicherbewirtschaftung Knappenrode 82
6.1.3 Standsicherheitsuntersuchungen 83
6.1.4 Hydrodynamische Stabilität der Uferzone 86
6.1.5 Maßnahmen zum Schutz von Personen und Objekten 87
6.1.6 Kosten 87
6.1.7 Betroffenheiten Dritter 88
6.2 Grundsätzliche Alternativenprüfung – Bereiche G, S und T 90
6.2.1 Vorbemerkung 90
6.2.2 Sicherungsvariante 1 - Versteckter Damm (seeseitig) 90
6.2.3 Sicherungsvariante 2 - Versteckter Damm (landseitig) 97
6.2.4 Variantenvergleich 103
6.3 Alternativenprüfung - Bereich A und B Nord 105
6.3.1 Sicherungsvariante 1 – Versteckter Damm (seeseitig) 105
6.3.2 Sicherungsvariante 2 – Versteckter Damm, Teilaushub der Kippenmassen 112
6.3.3 Variantenvergleich 119
6.4 Alternativenprüfung - Bereich U 122
6.4.1 Sicherungsvariante 1 – Versteckter Damm (seeseitig) 122
6.4.2 Sicherungsvariante 2 – Versteckter Damm (landseitig, RDV und schonende SPV (sSPV)) 132
6.4.3 Variantenvergleich 147
6.5 Alternativenprüfung - Bereich D Ost 152
6.5.1 Sicherungsvariante 1 – Versteckter Damm (seeseitig) 152
6.5.2 Sicherungsvariante 2 – Versteckter Damm (landseitig) 160
6.5.3 Variantenvergleich 168

6.6 Alternativenprüfung - Bereich D Mitte 170
6.6.1 Sicherungsvariante 1 – Versteckter Damm (seeseitig) 170
6.6.2 Sicherungsvariante 2 – Massenabtrag 176
6.6.3 Variantenvergleich 179
6.7 Alternativenprüfung - Bereich D West 181
6.7.1 Sicherungsvariante 1 – Versteckter Damm (seeseitig) 181
6.7.2 Sicherungsvariante 2 – Versteckter Damm (landseitig) 187
6.7.3 Sicherungsvariante 3 – Versteckter Damm (landseitig) 193
6.7.4 Variantenvergleich 198
6.8 Sicherungsvarianten - Bereich F 201
6.8.1 Planungsstand – Sicherung Bereich F 201

7 Auswertung der Alternativenprüfung und Ableitung der Vorzugsvarianten 207

8 Empfehlung der weiteren Vorgehensweise 212

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 Lagepläne

Anlage 1.1 Regionaler Übersichtslageplan
M 1 : 10 000

Anlage 1.2 Übersichtslageplan Sicherungsbereiche
M 1 : 5 000

Anlage 1.3 Lageplan Geotechnische Situation mit Erkundungspunkten, Profillinien, Sperrbereichsgrenzen und Liegenschaften
M 1 : 2 000

1.3.1 Teilbereich Nord

1.3.2 Teilbereich Süd

Anlage 1.4 Lageplan Verschiebung der Uferlinie bei wesentlichen Umprofilierungen im Bereich der Uferböschung
M 1 : 5 000

Anlage 2 Bereichsbezogene Lagepläne

Anlage 2.1 Bereiche A und B Nord

2.1.1 Lageplan Sicherungsvariante 1 Versteckter Damm seeseitig
(Herstellung mittels RDV und LRV)
Plan 1: Darstellung RDV, LRV, Auf- und Abträge, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Flurstücke, Erschütterungseinwirkungen

2.1.2 Lageplan Sicherungsvariante 2 Versteckter Damm seeseitig und Massenaushub
(Herstellung mittels RDV und LRV)
Plan 1: Darstellung RDV, LRV, Auf- und Abträge, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Flurstücke, Erschütterungseinwirkungen

Anlage 2.2 Bereich U

2.2.1 Lageplan Sicherungsvariante 1 Versteckter Damm seeseitig
Plan 1: Darstellung RDV, LRV, Auf- und Abträge, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Flurstücke, Erschütterungseinwirkungen

2.2.2 Lageplan Sicherungsvariante 2 Versteckter Damm landseitig
(Herstellung mittels RDV und Schonender SPV)
Plan 1: Darstellung RDV, LRV, Auf- und Abträge, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Flurstücke, Erschütterungseinwirkungen

2.2.3 Lageplan Sicherungsvariante 3 Versteckter Damm landseitig
(Herstellung nur mittels RDV)
Plan 1: Darstellung RDV, LRV, Auf- und Abträge, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Flurstücke, Erschütterungseinwirkungen
(Plan - entspricht Anlage 2.2.2 Plan 2(in der Anlage nicht beigegeben))

Anlage 2.3 Bereiche G, S, T

2.3.1 Lageplan Sicherungsvariante 1 Versteckter Damm seeseitig
Plan 1: Darstellung RDV, LRV, Abträge, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Erschütterungseinwirkungen

2.3.2 Lageplan Sicherungsvariante 2 Versteckter Damm landseitig
Plan 1: Darstellung RDV, LRV, Abträge, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Erschütterungseinwirkungen

Anlage 2.4 Bereich D Ost

2.4.1 Lageplan Sicherungsvariante 1 Versteckter Damm seeseitig
Plan 1: Darstellung RDV, LRV, Abträge, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Erschütterungseinwirkungen

2.4.2 Lageplan Sicherungsvariante 2 Versteckter Damm landseitig
Plan 1: Darstellung RDV, LRV, Abträge, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Erschütterungseinwirkungen

Anlage 2.5 Bereich D Mitte

2.5.1 Lageplan Sicherungsvariante 1 Versteckter Damm seeseitig
Plan 1: Darstellung RDV, LRV, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Erschütterungseinwirkungen

2.5.2 Lageplan Sicherungsvariante 2 Massenabtrag
Plan 1: Darstellung Abtrag, Beräumung

Anlage 2.6 Bereich D West

2.6.1 Lageplan Sicherungsvariante 1 Versteckter Damm seeseitig
Plan 1: Darstellung RDV, LRV, Abträge, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Erschütterungseinwirkungen

2.6.2 Lageplan Sicherungsvariante 2 Versteckter Damm landseitig
Plan 1: Darstellung RDV, LRV, Abträge, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Erschütterungseinwirkungen

2.6.3 Lageplan Sicherungsvariante 3 Versteckter Damm landseitig
Plan 1: Darstellung RDV, Beräumung
Plan 2: Darstellung Damm, Erschütterungseinwirkungen

Anlage 3 Profile

Anlage 3.1 Bereiche A und B Nord

3.1.1 Profil 6+474.50, Sicherungsvariante 1 – geplanter Endzustand

3.1.2 Profil 6+474.50, Sicherungsvariante 2 – geplanter Endzustand

3.1.3 Profil 6+926.50, Sicherungsvariante 1 – geplanter Endzustand

3.1.4 Profil 6+926.50, Sicherungsvariante 2 – geplanter Endzustand

3.1.5 Profil 7+093.50, Sicherungsvariante 1 – geplanter Endzustand

3.1.6 Profil 7+093.50, Sicherungsvariante 2 – geplanter Endzustand

Anlage 3.2 Bereich U

3.2.1 Profil 0+136.46, Sicherungsvariante 1 – geplanter Endzustand

3.2.2 Profil 0+136.46, Sicherungsvariante 2 – geplanter Endzustand

3.2.3 Profil 0+136.46, Sicherungsvariante 3 – geplanter Endzustand

3.2.4 Profil 0+258.15, Sicherungsvariante 1 – geplanter Endzustand

3.2.5 Profil 0+258.15, Sicherungsvariante 2 – geplanter Endzustand

3.2.6 Profil 0+258.15, Sicherungsvariante 3 – geplanter Endzustand

3.2.7 Profil 0+425.29, Sicherungsvariante 1 – geplanter Endzustand

3.2.8 Profil 0+425.29, Sicherungsvariante 2 – geplanter Endzustand

3.2.9 Profil 0+425.29, Sicherungsvariante 3 – geplanter Endzustand

Anlage 3.3 Bereich D Ost

3.3.1 Profil 2+775, Sicherungsvariante 1 – geplanter Endzustand

3.3.2 Profil 2+775, Sicherungsvariante 2 – geplanter Endzustand

3.3.3 Profil 2+975, Sicherungsvariante 1 – geplanter Endzustand

3.3.4 Profil 2+975, Sicherungsvariante 2 – geplanter Endzustand

3.3.5 Profil 3+276, Sicherungsvariante 1 – geplanter Endzustand

3.3.6 Profil 3+276, Sicherungsvariante 2 – geplanter Endzustand

Anlage 3.4 Bereich D Mitte

3.4.1 Profil 3+884, Istzustand (Erkundung 2013)

3.4.2 Profil 3+909, Istzustand (Erkundung 2013)

3.4.3 Profil 3+935, Istzustand (Erkundung 2013)

3.4.4 Profil 3+909, Sicherungsvariante 1 – geplanter Endzustand

3.4.5 Profil 3+909, Sicherungsvariante 2 – geplanter Endzustand

Anlage 3.5 Bereich D West

3.5.1 Profil 4+591, Sicherungsvariante 1 – geplanter Endzustand

3.5.2 Profil 4+591, Sicherungsvariante 2 – geplanter Endzustand

3.5.3 Profil 4+591, Sicherungsvariante 3 – geplanter Endzustand

3.5.4 Profil 5+263, Sicherungsvariante 1 – geplanter Endzustand

3.5.5 Profil 5+263, Sicherungsvariante 2 – geplanter Endzustand

3.5.6 Profil 5+263, Sicherungsvariante 3 – geplanter Endzustand

Anlage 4 Berechnungsprotokolle
Standsicherheit Uferböschung Endzustand

Anlage 4.1 Bereiche A und B Nord

4.1.1 – Profil 6+475, Variante 1

4.1.2 – Profil 6+475, Variante 2

4.1.3 – Profil 6+927, Variante 1 (und 2)

4.1.4 – Profil 7+095, Variante 1

4.1.5 – Profil 7+095, Variante 2

Anlage 4.2 Bereich U

4.2.1 – Profil 0+136, Variante 1

4.2.2 – Profil 0+136, Variante 2

4.2.3 – Profil 0+136, Variante 3

4.2.4 – Profil 0+258, Variante 1

4.2.5 – Profil 0+258, Variante 2

4.2.6 – Profil 0+258, Variante 3

4.2.7 – Profil 0+425, Variante 1

4.2.8 – Profil 0+425, Variante 2

Anlage 4.3 Bereich D Ost

4.3.1 – Profil 3+276, Variante 1

4.3.2 – Profil 3+276, Variante 2

Anlage 4.4 Bereich D West

4.4.1 – Profil 4+591, Variante 1

4.4.2 – Profil 4+591, Variante 2

4.4.3 – Profil 4+591, Variante 3

4.4.4 – Profil 5+263, Variante 1

4.4.5 – Profil 5+263, Variante 2

4.4.6 – Profil 5+263, Variante 3

Anlage 5 Kostenschätzung Alternativenprüfung

Anlage 5.1 Bereiche A und B Nord

5.1.1 Sicherungsvariante 1

5.1.2 Sicherungsvariante 2

Anlage 5.2 Bereich U

5.2.1 Sicherungsvariante 1

5.2.2 Sicherungsvariante 2

5.2.3 Sicherungsvariante 3

5.2.4 Sicherungsvariante 4

Anlage 5.3 Bereiche G, S, T

5.3.1 Sicherungsvariante 1

5.3.2 Sicherungsvariante 2

Anlage 5.4 Bereich D Ost

5.4.1 Sicherungsvariante 1

5.4.2 Sicherungsvariante 2

Anlage 5.5 Bereich D Mitte

5.5.1 Sicherungsvariante 1

5.5.2 Sicherungsvariante 2

Anlage 5.6 Bereich D West

5.6.1 Sicherungsvariante 1

5.6.2 Sicherungsvariante 2

5.6.3 Sicherungsvariante 3

Anlage 5.7 Bereich F

5.7.1 Sicherungsvariante 1

5.7.2 Sicherungsvariante 2

Anlage 6 Varianten Mediensicherung

Anlage 6.1 Mediensicherung Bereiche A und B Nord

Anlage 6.2 Mediensicherung Bereich U

Anlage 6.3 Mediensicherung Bereiche G, S, T

Anlage 6.4 Mediensicherung Bereich D Ost

Anlage 6.5 Mediensicherung Bereich D Mitte

Anlage 6.6 Mediensicherung Bereich D West

Anlage 7 Prüfung Varianten Ökologische Fachbegleitung

Anlage 7.1 Bereiche A und B Nord

Anlage 7.2 Bereich U

Anlage 7.3 Bereiche G, S, T

Anlage 7.4 Bereich D Ost

Anlage 7.5 Bereich D Mitte

Anlage 7.6 Bereich D West

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Geotechnische Verhältnisse und Planungsstände der einzelnen Uferabschnitte	32
Tabelle 2:	Geplante Sicherungsmaßnahmen der Gefahrenabwehr	43
Tabelle 3:	Bewertung des Umfanges der Gefahrenabwehrmaßnahmen	52
Tabelle 4:	Verbesserungsmaßnahmen für Kippenböden (in Anlehnung an [38])	55
Tabelle 5:	Verfahren und Einsatzbereiche der Sicherung verflüssigungsgefährdeter Kippen	55
Tabelle 6:	Ergebnis der Prüfung der grundlegenden Geeignetheit der Sicherungsvarianten	79
Tabelle 7:	Ableitung von Alternativvarianten für die zu untersuchenden Uferbereiche	81
Tabelle 8:	In den Standsicherheitsberechnungen angesetzte Rechenwerte für die Böden	84
Tabelle 9:	Ergebnisse von Standsicherheitsberechnungen zur Ermittlung erforderlicher erdfeuchter Überdeckungen herdf.,erf., bei unterschiedlich großen Verkehrslasten (Berechnungen mittels SLOPE/W)	85
Tabelle 10:	Bereichsbezogene Mindeststrandneigungen	86
Tabelle 11:	Vorgegebene Kostenpauschalen	89
Tabelle 12:	Mengenaufgliederung Bereich G, S und T Variante 1	92
Tabelle 13:	Übersicht Beeinflussung Dritter Bereiche G, S und T Sicherungsvariante 1	95
Tabelle 14:	Kosten (Kostengruppen) Bereiche G, S und T Variante 1	96
Tabelle 15:	Mengenaufgliederung Bereiche G, S und T Variante 2	99
Tabelle 16:	Übersicht Beeinflussung Dritter Bereiche G, S und T Sicherungsvariante 2	101
Tabelle 17:	Kosten (Kostengruppen) Bereiche G, S und T Variante 2	102
Tabelle 18:	Mengen- und Kostenaufgliederung Bereiche G, S und T Varianten 1 und 2	103
Tabelle 19:	Mengenaufgliederung Bereich A und B Nord – Variante 1	108
Tabelle 20:	Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich A und B Nord – Sicherungsvariante 1	110
Tabelle 21:	Kosten (Kostengruppen) Bereich A und B Nord – Variante 1	112
Tabelle 22:	Mengenaufgliederung Bereich A und B Nord – Variante 2	115
Tabelle 23:	Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich A und B Nord – Sicherungsvariante 2	117
Tabelle 24:	Kosten (Kostengruppen) Bereich A und B Nord – Variante 2	119
Tabelle 25:	Vergleich einzelner Kostenpositionen Bereich A und B Nord Varianten 1 und 2	120
Tabelle 26:	Mengenaufgliederung Bereich U – Variante 1	127

Tabelle 27: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich U – Sicherungsvariante 1 130
Tabelle 28: Kosten (Kostengruppen) Bereich U – Variante 1 131
Tabelle 29: Mengenaufgliederung Bereich U – Variante 2 140
Tabelle 30: Mengenaufgliederung Bereich U – Variante 3 141
Tabelle 31: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich U – Sicherungsvariante 2 oder 3 144
Tabelle 32: Kosten (Kostengruppen) Bereich U – Variante 2 146
Tabelle 33: Kosten (Kostengruppen) Bereich U – Variante 3 146
Tabelle 34: Kosten (Kostengruppen) Bereich U – Variante 4 147
Tabelle 35: Vergleich einzelner Kostenpositionen Bereich U Varianten 1 bis 4 149
Tabelle 36: Mengenaufgliederung Bereich D Ost Variante 1 156
Tabelle 37: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D Ost Sicherungsvariante 1 158
Tabelle 38: Kosten (Kostengruppen) Bereich D Ost Variante 1 160
Tabelle 39: Mengenaufgliederung Bereich D Ost Variante 2 164
Tabelle 40: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D Ost Sicherungsvariante 2 166
Tabelle 41: Kosten (Kostengruppen) Bereich D Ost Variante 2 167
Tabelle 42: Vergleich einzelner Kostenpositionen Bereich D Ost Varianten 1 und 2 169
Tabelle 43: Mengenaufgliederung Bereich D Mitte Variante 1 172
Tabelle 44: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D Mitte Sicherungsvariante 1 174
Tabelle 45: Kosten (Kostengruppen) Bereich D Mitte Variante 1 175
Tabelle 46: Mengenaufgliederung Bereich D Mitte Variante 2 177
Tabelle 47: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D Mitte Sicherungsvariante 2 178
Tabelle 48: Kosten (Kostengruppen) Bereich D Mitte Variante 2 179
Tabelle 49: Vergleich einzelner Kostenpositionen Bereich D Mitte Varianten 1 und 2 180
Tabelle 50: Mengenaufgliederung Bereich D West Variante 1 183
Tabelle 51: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D West Sicherungsvariante 1 185
Tabelle 52: Kosten (Kostengruppen) Bereich D West Variante 1 187
Tabelle 53: Mengenaufgliederung Bereich D West Variante 2 190
Tabelle 54: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D West Sicherungsvariante 2 192
Tabelle 55: Kosten (Kostengruppen) Bereich D West Variante 2 193

Tabelle 56: Mengenaufgliederung Bereich D West Variante 3 195

Tabelle 57: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D West Sicherungsvariante 3 197

Tabelle 58: Kosten (Kostengruppen) Bereich D West Variante 3 198

Tabelle 59: Vergleich einzelner Kostenpositionen Bereich D West Varianten 1, 2 und 3 199

Tabelle 60: Kosten (Kostengruppen) Bereich F Variante 1 Gebäudesicherung und Geländeaufhöhung 205

Tabelle 61: Kosten (Kostengruppen) Bereich F Variante 2 Abriss und Geländeaufhöhung 205

Tabelle 62: Kostenübersicht der bereichsweisen Varianten 207

Tabelle 63: Übersicht über Sperrzeiten (Grundlage - Zeitplan) 209

Tabelle 64: Kostenübersicht der Vorzugsvarianten 210

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Zusammenhang zwischen Restrisiko R_R und Grenzrisiko R_G (aus [41]) 50

Abbildung 2: Rütteldruckverdichtung ([28]) 61

Abbildung 3: MRC-Tiefenverdichtung (aus [65]) 62

Abbildung 4: Rüttelstopfverdichtung ([28]) 65

Abbildung 5: Sprengverdichtung (Auswurf bei einer Gruppensprengung) 66

Abbildung 6: Raupenkran (aus [55]) 69

Abbildung 7: Tripode ([55]) 69

Abbildung 8: Geräteeinheit zur Impulsverdichtung ([29]) 70

Abbildung 9: Regelprofil landseitiger Stützkörper im Bereich U – Variante 2 (RDV+ Schonende SPV) 133

Abbildung 10: Regelprofil Versteckter Damm im Bereich D Ost – Variante 1 152

Abbildung 11: Regelprofil Versteckter Damm im Bereich des Koblenzer Grabens 153

Abbildung 12: Regelprofil Versteckter Damm im Bereich D Ost – Variante 2 161

Abkürzungsverzeichnis

AFB	Abraumförderbrücke
AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
Art.	Artikel
BE	Baustelleneinrichtung
FGV	Fallgewichtsverdichtung
FMI	Fräs-Misch-Injektions-Verfahren
GG	Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland
GPS	Global Positioning System
GV	Variante zur Vermeidung von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung
HDI	Düsenstrahlinjektion / Hochdruckinjektion
LMBV mbH	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
LRV	Oberflächennahe Rüttelverdichtung
LTV	Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen
MIP	Mixed in Place Verfahren
MRC	Müller Resonance Compaction
PWD	Porenwasserdruck
RDV	Rütteldruckverdichtung
RS	Rammsondierung
RSV	Rüttelstopfverdichtung
SächsGVBl.	Sächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt
Sächs-HohlrVO	Sächsische Hohlraumverordnung
SächsOBA	Sächsisches Oberbergamt

SächsPolG	Polizeigesetz des Freistaates Sachsen
SE	Standsicherheitseinschätzung
SPV	Sprengverdichtung
sSPV	Schonende Sprengverdichtung
Stk.	Stück
TÖB	Träger öffentlicher Belange

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

1.1 Aufgabenstellung der Prüfung der Geeignetheit der geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen

Für das Tagebaurestgewässer Knappensee liegen "Geotechnische Planungsleistungen zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr und Sanierung des Knappensees (Tagebau Werminghoff)-SE“ [36] vom 14.08.2008 vor, die eine komplexe Sanierungskonzeption beschreiben. Diese Konzeption der Sicherungsmaßnahmen, die auf einer Sicherung gegen Setzungsfließen mittels Versteckten Dämmen gründet, wurde mit den Planungsunterlagen für die Uferabschnitte G, S, T, D Ost, A und B Nord ([9], [10], [11], [16], [33]) in die Entwurfs- und Genehmigungsplanung überführt, die die erforderlichen Maßnahmen und ihre technologische Umsetzung präzisiert.

Auf Grundlage verschiedener Planungsstände (Vorplanung bis Genehmigungsplanung) der Sicherungsmaßnahmen für die Uferabschnitte des Knappensees erfolgte die Erstellung eines Gesamtbauzeitenplanes (21.08.2012, [15]) unter Berücksichtigung von möglichen technologischen Abläufen. Mit diesem aktuell vorliegenden Bauzeitenplan zeigt sich eine neue zeitliche Qualität der Betroffenheiten Dritter. Verbunden damit ist ebenso eine deutliche Erhöhung der vorangeschlagenen Baukosten.

Aus Gründen

- der Minimierung der Inanspruchnahme Unbeteiligter,
- der Kostenoptimierung,
- der Optimierung der Bauzeiten,
- der Minimierung verfahrensrechtlicher Risiken und der
- Absicherung der Entscheidungsprozesse in den Gremien der Finanzierung

ist deshalb eine erneute Prüfung der Geeignetheit der gegenwärtig geplanten Maßnahmen erforderlich.

Die Überprüfung ist umfassend und grundsätzlich in ihrer Betrachtungsweise zu führen.

Für die Untersuchung von geeigneten Sanierungstechnologien und deren Effizienz stehen dabei das Gebot der Verhältnismäßigkeit und die Anwendung des mildesten Mittels unter dem Aspekt, dass die Gefahrenabwehrmaßnahme an anderen Rechtsgütern nicht mehr Schaden verursachen darf, als im Rahmen der Gefahrenabwehr vermieden wird, im Vordergrund. Prüfmaßstab ist dabei die definierte Zielstellung der Gefahrenabwehrmaßnahme (Zielerreichung), auf Grundlage ihrer Erforderlichkeit, deren Nachweis mit [6] aktuell geführt worden ist.

Die Bearbeitung zur Geeignetheit von Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee untersucht dabei nachfolgend aufgeführte Schwerpunkte [5]:

- Zusammenfassung der Erforderlichkeit der Gefahrenabwehr (siehe Kapitel 1.2),
- Definition der Ziele der Gefahrenabwehrmaßnahme (inhaltlich, zeitlich, räumlich),
- grundsätzliche Alternativenprüfung der Technologie, auch bezüglich Alternativen zu den Versteckten Dämmen,
- grundsätzliche Alternativenprüfung seeseitige und landseitige Ausführung der Vorzugsvariante,

- spezielle Alternativenprüfung für die einzelnen Bereiche:
    - spezielle Alternativenprüfung für den Bereich U,
    - spezielle Alternativenprüfung für die Bereiche A und B und
    - spezielle Alternativenprüfung für die Bereiche D West und D Ost,
- Zusammenfassende Bewertung und Ableitung der Vorzugsvarianten unter Angabe der Auswirkungen auf Bauzeit und Baukosten.

Im Rahmen der speziellen Alternativenprüfung des Bereiches U erfolgt die Untersuchung der Möglichkeit der Ausführung alternativer Sanierungstechnologien beziehungsweise -varianten (wie beispielsweise die Herstellung eines landseitigen Dammes), da aufgrund der langjährigen Sperrzeiten ein Rückbau der gesamten Bungalowsiedlung unausweichlich scheint. Weiterführend erfolgt die Prüfung von Verzicht auf den Massenabtrag aus der Hochkippe, die Betrachtung der konstruktiven und technologischen Anpassungen an die Nachbarbereiche, Beachtung und Betrachtung der vorhandenen Medieninfrastruktur, Herstellung der erforderlichen erdfeuchten Überdeckung zur Beseitigung der Grundbruchgefährdung nach aktuellem Kenntnisstand und die Betrachtung von Änderungen bezüglich der Festlegung des Sperrbereiches während der Ausführung der RDV.

Für die Untersuchung von alternativen Sanierungstechnologien für die Bereiche A und B ist auch die Variante einer dauerhaften Sperrung im Rahmen administrativer Maßnahmen zu betrachten [5].

Weitere zu berücksichtigende und zu bewertende Themenschwerpunkte stellen die ökologischen Belange und die Medienbetroffenheiten dar. Im Ergebnis der Untersuchungen für relevante Sicherungsvarianten sind Änderungen des zeitlichen Gesamtablaufes der Sicherungsmaßnahmen möglich, als auch bei Technologieanpassungen zwingend zu erwarten. Auswirkungen ergeben sich durch die intensive Verknüpfung der technologischen Umsetzung der Sicherungsarbeiten unter dem bisherig mit oberster Priorität definierten Bauablauf mit zeitlicher Optimierung, auf alle Sicherungsmaßnahmen (vorgelagerte als auch nachfolgende). Alle Änderungen in der Technologie und im Ablauf lassen eine Kostenauswirkung erwarten.

Bei der prinzipiellen Betrachtung zu den Varianten und Technologien hat auch die Prüfung der Bereiche G, S und T zu erfolgen. Hierbei soll die Frage geklärt werden, welche technologischen Varianten unter Berücksichtigung der Gewährleistung der Sicherungsziele bestehen [5].

Die Verhältnismäßigkeit von abgeleiteten Alternativen erfolgt über die Ermittlung von überschlägigen Kosten. Hierbei werden auch unter Zuarbeit der LMBV mbH, Abteilung Liegenschaften VU 4 liegenschaftliche Auswirkungen berücksichtigt [4].

Der Umfang der Bearbeitung sowie ihre fachliche Tiefe, die dem Standard einer Alternativenprüfung entspricht, charakterisieren die zu erbringenden Leistungen im überwiegenden Maße als eine Vorplanung.

Mit der Bearbeitung der o.g. Aufgabenstellung wurde die ARGE Werminghoff von der LMBV mbH mit [1] beauftragt.

1.2 Gefahrensituation und Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen

In den Uferböschungen am Knappensee stehen in weiten Bereichen Kippenböden an. Ein Großteil der sich im Hinterland anschließenden Böschungen (z. B. Bereiche U, T, S, G) ist Bestandteil der Innenkippe des ehemaligen Tagebaus Werminghoff I. In einer Vielzahl von durchgeführten geotechnischen Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass das vorhandene sandige Kippenmaterial überwiegend locker bis bereichsweise sehr locker gelagert ist und weitere für eine Verflüssigungsgefährdung maßgebende Eigenschaften (z. B. Kornverteilung, Rundungsgrad usw.) aufweist. Zeugnis der Verflüssigungsgefährdung des Materials sind u. a. die im Zeitraum des Tagebaubetriebes aufgetretenen Rutschungen. Auch die 2005 aufgetretene Rutschung Koblenzer Straße, die sich etwa 600 m östlich des Knappensees befand und bei der in Bezug auf die zu sichernden Uferbereiche vergleichbares Kippenmaterial beteiligt war, ist ein Nachweis für die vorhandene Verflüssigungsgefährdung.

Wird eine Setzungsfließrutschung ausgelöst, so verläuft der Rutschungsprozess lawinenartig und großräumig in Sekunden bis Minuten ab. Für Leib und Leben sowie Sachwerte bleibt keine Reaktions-, Rettungszeit sowie Zeit zur Ergreifung von Schutzmaßnahmen. Die Rutschungsereignisse selbst können über Schwallwellen weitere Rutschungen an gegenüberliegenden Ufern auslösen, so dass in Folge eines Ereignisses zusätzlich fast alle Uferbereiche des Knappensees bezüglich einer Sekundärrutschung akut gefährdet sind.

Angesichts mehrerer Schadensereignisse, die sich in den letzten Jahren insbesondere auch auf Innenkippenflächen der Lausitz ereignet haben, und deren mit dem Knappensee ähnlichen geotechnischen Situation ist das Risiko einer langfristigen Fortführung der Nutzung der Kippenflächen allein mit der bisherigen Handhabung der Einhaltung von Verhaltensanforderungen und Geboten ohne partielle Verbesserung als nicht vertretbar einzuschätzen. Unabhängig davon, ob durch die Einhaltung von Geboten und Verboten, deren Kontrolle und Durchsetzung sich als äußerst schwierig erwiesen haben, ein äußeres Initial zwar scheinbar überwiegend verhinderbar scheint (Extremereignisse sind nicht kalkulierbar), kann auf mögliche innere Initiale nicht oder nur sehr beschränkt (z. B. durch ein Absenken des Grundwasserspiegels) Einfluss genommen werden. Gleiches gilt für eine Verschlechterung der geotechnischen Situation infolge von Extremwetterereignissen (starke Niederschläge, Windeinfluss, etc.). Das von den lockeren Kippenböden ausgehende geotechnische Risiko bleibt ohne geotechnische Sicherungs- und Verbesserungsmaßnahmen latent bestehen. Entsteht innerhalb des wassergesättigten Kippenkörpers ein Porenwasserüberdruck, so kann sich daraus ein Setzungsfließen bzw. ein Geländeeinbruch infolge Verflüssigung ausbilden. Die damit einhergehenden Gefährdungen und Schadensausmaße sind durch bereits gegangene Geländeeinbrüche (infolge Verflüssigung) bzw. Verflüssigungsereignisse nachvollziehbar dokumentiert.

Aus vielen Untersuchungen sowie Schadensereignissen ist bekannt, dass allein mit wachsender Liegezeit der Kippe keine Abnahme der Verflüssigungsgefährdung einhergeht. Vor allem unter Beachtung der Tatsache, dass sich mit wachsender Zeit die Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Setzungsfließens am Knappensee, bei dem Personen, Sachgüter und Schutzgüter massiv zu Schaden kommen, stetig erhöht, ist die Ergreifung von Maßnahmen zu deren Beseitigung dringend geboten.

Gegenüber dem Sachstand in den 80er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts sind wir heute in der Lage, über Sanierungstechnologien und die dazugehörige Technik zu verfügen, um die Setzungsfließgefahr zu beseitigen.

2 Arbeitsunterlagen

[1] Abruf zur Prüfung der Geeignetheit der geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen,
LMBV mbH,
17.04.2013

[2] Geotechnische Stellungnahme, Vorzugsvariante für den Umgang mit der Bebauung im Bereich der Flurstücke 15/17, 15/18 und 15/20, ARGE Werminghoff vom 31.05.2013,
LMBV mbH
31.05.2013

[3] Protokoll zur Planungsbesprechung vom 25.04.2013,
Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee,
LMBV mbH
06.05.2013

[4] Protokoll zur Erörterung von Aufgabenstellungen vom 08.11.2012,
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau,
BIUG GmbH Freiberg,
08.12.2012

[5] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee, Aufgabenstellung zur Prüfung der Geeignetheit der geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen
LMBV mbH, Sanierungsbereich Lausitz
16.10.2012

[6] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee, Nachweis der Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg,
18.02.2013

[7] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung, Ergebnisbericht Geotechnische Untersuchung, Bebauung Flurstücke 15/17, 15/18 und 15/20, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg,
05.02.2013

[8] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung, Sicherungsphase 1, Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich Böschungsprofilierung, Ausführungsplanung (Entwurfsexemplar)
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau,
BIUG GmbH Freiberg,
15.01.2013

[9] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich G - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich Böschungsprofilierung, Geotechnische Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens auf Belange Dritter,
Überarbeiteter Erläuterungsbericht,
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau,
BIUG GmbH Freiberg,
Stand Januar 2013

[10] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich S - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich Böschungsprofilierung, Geotechnische Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens auf Belange Dritter, Überarbeiteter Erläuterungsbericht, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, Stand Januar 2013

[11] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich T - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich Böschungsprofilierung, Geotechnische Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens auf Belange Dritter, Überarbeiteter Erläuterungsbericht, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, Stand Januar 2013

[12] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung, Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich Böschungsprofilierung, Sanierungsphase 1, Beschreibung ökologischer Maßnahmen zum vorgezogenen Artenschutz, Grontmij GmbH Stand 20.12.2012

[13] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung, Geotechnische Stellungnahme, Hotel Haink, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, 30.11.2012

[14] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich F -, Geotechnische Vorplanung ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, 27.08.2012

[15] Gesamtbauzeitenplan der Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, Stand 21.08.2012

[16] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich D Ost - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich Böschungsprofilierung, Leseexemplar der Geotechnischen Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens auf Belange Dritter, ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau, BIUG GmbH Freiberg, 31.07.2012

[17] Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee (ehemaliger Tagebau Werminghoff I) gemäß Sächsischer Hohlraumverordnung - Bereich U - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich Böschungsprofilierung,

Geotechnische Entwurfs- und Genehmigungsplanung sowie
Darstellung der Auswirkungen des Vorhabens auf Belange Dritter,
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Hauptniederlassung Zwickau,
BIUG GmbH Freiberg,
29.06.2012

[18] Beiträge zum Fachkolloquium 4: Bodenverflüssigung bei Kippen des Lausitzer Braunkohlebergbaus im Rahmen des Freiberger Forschungsforums – 63 . Berg- und Hüttenmännischer Tag, Heft 3, Hrsg.: Wolfram Kudla, Technische Universität Freiberg, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau, Professur für Erdbau und Spezialtiefbau, 2012

[19] Polizeiverordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr über die Abwehr von Gefahren aus unterirdischen Hohlräumen sowie Halden und Restlöchern (Sächsische Hohlraumverordnung – SächsHohlrVO), vom
20.02.2012

[20] Übersichtskarte Knappensee (mit Liegenschaftsangaben), M 1 : 5.000, von der LMBV mbH Sanierungsbereich Lausitz, zuletzt bearbeitet am 26.10.2012

[21] Bergmännisches Risswerk,
LMBV mbH,
01 / 2012

[22] Bericht zur Auswertung der Messergebnisse an der Straße Koblenz - Knappenrode (K 9207) für den Zeitraum März bis August 2011
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau,
BIUG GmbH Freiberg
27.09.2011

[23] Maßnahmekomplex zur Beherrschung der Situation an der Straße Knappenrode – Koblenz, Präsentation ARGE Werminghoff, Abstimmung mit SMWA, SOBA und LMBV mbH am
03.02.2011

[24] Leitfaden zur geotechnischen Beurteilung von Verflüssigungsgrundbrüchen auf Kippen im Hinterland sanierter Restlochbereiche und Empfehlungen zur Sanierung und Nachnutzung, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Dresden, BIUG GmbH Freiberg,
Bearbeitungsstand 31.12.2010

[25] Hydrogeologische Berechnungen (Einschätzung – HE), Tagebau Werminghoff I, 2. Nachtrag LMBV mbH, Länderbereich Ostsachsen,
21.12.2010

[26] Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels LRDV einschließlich Böschungsprofilierung im Bereich E am Knappensee
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau,
BIUG GmbH Freiberg,
23.07.2010

[27] Unterlagen zum Fortbildungsseminar der
TERRA-MIX Bodenstabilisierungs GmbH,
Frauental/Stmk,
21.01.2010

[28] Geotechnische Baubegleitung im Rahmen der Kippenstabilisierung im Bereich des Bahnhofes Lohsa und der Innenkippe Lohsa, ehemaliger Tagebau Werminghoff II,

G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau,
seit April 2010

[29] Revolutionäre Spezialtiefbauentwicklung, Baublatt.Österreich,
Linde Verlag
April 2010

[30] Fachbuch „Theorie und Praxis der Braunkohlensanierung“, Hrsg. LMBV mbH, 2009

[31] Errichtung einer Einsetzstelle für Sanierungstechnik am Knappensee, Baudokumentation, Baucom, Bautzen, 02.12.2009

[32] Herstellung / Sicherung, Einsetzstelle Südufer Knappensee, Ausführungsplanung, Horst Alte GmbH, September 2009

[33] Ausführungsplanung zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr und Sanierung des Knappensees (Tagebau Werminghoff I) – Bereiche A und B Nord – Standsicherheitseinschätzung
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau, BIUG GmbH Freiberg,
21.08.2009

[34] Geotechnische Planungsleistungen zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr und Sanierung des Knappensees Bereich A und B Nord - Durchführung der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und LRDV einschließlich der Böschungsprofilierung – Entwurfs- und Genehmigungsplanung –
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau, BIUG GmbH Freiberg,
21.08.2009

[35] Verordnung des Sächsischen Oberbergamtes über die Bergaufsicht unterliegenden Betriebe, Tätigkeiten und Einrichtungen (Sächsische Bergverordnung – SächsBergVO), vom 16.07.2009

[36] Geotechnische Planungsleistungen zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr und Sanierung des Knappensees - Standsicherheitseinschätzung, Band 1, Band 2 und Band 3
ARGE Werminghoff, G.U.B. Ingenieur AG, Büro Zwickau, BIUG GmbH Freiberg,
14.08.2008 und 15.01.2009

[37] Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Tagebaurestlöchern, Halden und Kippen des Altbergbaus“, Arbeitskreis 4.6 „Altbergbau“ der Fachsektion Ingenieurgeologie in der DGGT, Essen / Herne 2009, veröffentlicht auf dem 7. Altbergbaukolloquium 2009

[38] Grundbautaschenbuch Teil 2,
7. Auflage Ernst & Sohn, Berlin,
2009

[39] Ergebnisse von Lotungen im Bereich des Tagebaurestgewässers Knappensee,
LMBV mbH,
2008

[40] Grundbautaschenbuch Teil 1,
7. Auflage Ernst & Sohn, Berlin,
2008

[41] Definition tolerierbarer verbleibender Risiken an sanierten Bergbauobjekten bei Beendigung der Bergaufsicht, Vortrag - Internationales Bergbausymposium Wismut 2007, Benthaus, Jonas, Fischer, Keßler, Nötzold, Schürer, 10.09.2007

[42] SLOPE/W – Benutzerhandbuch, GEO-SLOPE International Ltd., 2007

[43] Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln am Knappensee, 4. Nachtrag, Erkundung und Verwahrung von Altstrecken, Auswertung der Erkundung mit Drucksondierungen,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
10.05.2007

[44] Zur Problematik der Grundbruchsicherheit auf Kippenflächen mit geringem Grundwasserflurabstand in Senftenberg,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH,
27.04.2007

[45] ERLER, R., REINHARDT, K., BAHL, T., MUMMERT, Th., KEßLER, J.: Zur Anwendung der RDV bei der Verdichtung verspülter Sande in Dubai, Vortrag zum Geotechnik-Kolloquium an der TU BA Freiberg am 30.03.2007

[46] Standsicherheitseinschätzung - (u.a. Geotechnische Bewertung der für das SB Knappenrode aktuell gültigen Standsicherheitseinschätzung vom 31.08.2005) und ergänzende Standsicherheitsberechnungen (Gutachten vom 24.03.2006)
BIUG GmbH Freiberg,
Senftenberg, 31.08.2005 und 24.03.2006

[47] Seismologisches Standortgutachten im Bereich der Talsperrenmeisterei Spree,
Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie,
21.11.2005

[48] Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln am Knappensee
1. Nachtrag,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
31.08.2005

[49] Richtlinie des Sächsischen Oberbergamtes über die geotechnische Sicherheit im Bergbau über Tage (Richtlinie Geotechnik),
10.03.2005

[50] Entwurf zum Leitfaden zur Erstellung von Standsicherheitseinschätzungen zur Beurteilung der Tragfähigkeit des verflüssigungsgefährdeten Kippenuntergrundes im Hinterland sanierter Restlochbereiche,
BIUG GmbH, Senftenberg,
12.01.2005

[51] Schwingungsmessungen bei RDV, Schwinggeschwindigkeiten B97, RL Bärwalde, Lugkteich, RL Laubusch, RL Kortitzmühle,
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
2005

[52] Hydrogeologische Berechnungen (Einschätzung - HE), Tagebau Werminghoff I, 1. Nachtrag
LMBV mbH, Länderbereich Ostsachsen,
10.12.2004

[53] Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“, Arbeitskreis 4.6 „Altbergbau“ der Fachsektion Ingenieurgeologie in der DGGT,
Essen / Herne 2004, veröffentlicht auf dem 4. Altbergbaukolloquium 2004

[54] Braunkohlenplan als Sanierungsrahmenplan für den stillgelegten Tagebau I Werminghoff (Knappenrode), Regionale Planungsstelle beim StUFA Bautzen im Auftrag des regionalen Planungsverbandes Oberlausitz - Niederschlesien, Aufstellungsbeschluss am 20.11.1997, Feststellung durch Satzung in der Verbandsversammlung am 05.06.2003, Genehmigung durch das Sächsische Staatsministerium des Innern am 15.03.2004, In Kraft getreten am 05.08.2004

[55] Technische Mitteilungen des ÖIAV – Landesverband Tirol Nr. 7/2003

[56] Hydrogeologische Berechnungen (Einschätzung - HE), Tagebau Werminghoff I,
LMBV mbH, Länderbereich Ostsachsen,
28.06.2002

[57] Empfehlungen und Bemessungsgrundlagen für die Gestaltung von Tagebaurestseen,
LMBV mbH,
16.07.2001

[58] Standsicherheitsuntersuchungen, Beurteilung der geotechnischen Situation und Vorschlag von Maßnahmen zur endgültigen Sicherheit des Uferbereiches und der Inseln des Knappensees (Tagebau Werminghoff I)
G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau,
Mai 2000

[59] Die Wirkung von Elementen zur Dämpfung und Entspannung des Porenwasserdruckes in wassergesättigten verflüssigungsgefährdeten Lockergesteinsschüttungen, Dissertation an der TU Bergakademie Freiberg,
Dr.-Ing. L.R. Nigang, 27.01.2000

[60] Verwendung und Kennzeichnung von Sperr- und Sicherheitslinien, Brief, LMBV mbH, Hoyerswerda, 07.07.1999

[61] BMBF- und LMBV mbH-Förderprojekt Sanierung und Sicherung setzungsfließgefährdeter Kippen und Kippenböschungen,
IFGT der TU BA Freiberg, IBF an der Univ. Karlsruhe,
Schlussbericht 1998

[62] Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen,
LMBV mbH, TU Bergakademie Freiberg, Universität Karlsruhe (TH),
1998

[63] Sanierung und Sicherung setzungsfließgefährdeter Kippen und Kippenböschungen.
Teilprojekt 6. Gefördert durch BMBF und LMBV mbH.
Institut für Geotechnik
1998

[64] Merkblatt der LMBV zu den Definitionen „Rückgriffweite“ und „Sicherheitsabstand“,
LMBV mbH
Dezember 1997

[65] Massarsch, K.R.
Bodenerschütterungen beim Vibrationsrammen (Ground vibrations in connection with vibratory pile driving), TIEFBAU, 1997, Nr. 6 June edition, pp 336 – 343)

[66] Geotechnisch-hydromechanisches Grundsatzgutachten für die zweckmäßige Gestaltung von Böschungen an Tagebaurestseen am Beispiel des Wasserspeichers Lohsa II, Bergsicherung und Baugrundsanierung GmbH, Frankfurt (Oder), BIUG GmbH, Freiberg; Technische Universität

Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik; Berlin, Frankfurt (Oder), Freiberg, Dresden, Senftenberg, 1997

[67] Empfehlungen und Bemessungsgrundlagen für die Gestaltung von Tagebaurestseen.
LMBV mbH
15.09.1997

[68] Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen, Arbeitsausschuss „Ufereinfassungen“ der hafenbautechnischen Gesellschaft e. V. und der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e. V. 1996, 9. Auflage

[69] Sprengverdichtung zur Verbesserung von setzungsfließgefährdeten Kippen,
Freiberger Forschungsheft, FFH A 819,
1992

[70] Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen.
Ehem. Forschungsgruppe Geotechnik des BKK Senftenberg und der BA Freiberg, Sektion Geotechnik und Bergbau
Stand November 1989

[71] FÖRSTER, W.:
Sanierung setzungsfließgefährdeter Kippensysteme.
In: Vorträge des V. Bodenmechanischen Kolloquiums 1987 in Leipzig, S. 1-36
Bergakademie Freiberg 1988

[72] MEYERHOF, G. G., HANNA, A. M.: Ultimate bearing capacity of foundations on layered soils under inclined load, Can. Geotechnical Journal 15, S. 565 – 572, 1978

[73] Geologisches Gutachten über die Durchlässigkeits- und Lagerungsverhältnisse im Deckgebirge der Grube Werminghoff, Kreis Hoyerswerda, Dr. Hermann Foerster, 1939

3 Grundlagen der Bearbeitung

3.1 Lage und Beschreibung des Bearbeitungsgebietes

Im Freistaat Sachsen, Landkreis Bautzen befindet sich südöstlich von Hoyerswerda bzw. östlich von Wittichenau zwischen den Ortslagen Maukendorf, Koblenz und Groß Särchen das Restloch Knappensee im gleichnamigen Landschaftsschutzgebiet. Es umfasst den Ufer- und Randbereich sowie die Inseln innerhalb der Wasserfläche.

Der Knappensee besitzt eine Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 2,1 km und ist zwischen 0,8 km und 2,1 km breit. Die westlichen, nördlichen und östlichen im Hinterland liegenden Böschungen sind überwiegend bewaldet. Am gewachsenen Südrand des Sees liegen die Ortschaften Groß Särchen und Koblenz, die durch die Kreisstraße K 9219 verkehrstechnisch miteinander verbunden sind. Entlang der südwestlichen bis westlichen Seite des Sees verläuft die Bundesstraße B 96. Östlich bzw. nordöstlich des Knappensees verläuft die Kreisstraße Koblenz - Knappenrode (K 9207). Nördlich des Knappensees liegt die Ortschaft Maukendorf.

Die Zuflüsse zum See bilden der Koblenzer Graben im Südosten sowie der Zulaufgraben des Schwarzwassers in Groß Särchen. In der nördlichen Westböschung besteht ein für die Speicherbewirtschaftung notwendiges Auslaufbauwerk.

Die Hinterlandbereiche des Sees weisen im Westen und Süden ein flach ausgebildetes Höhenprofil aus. Dagegen finden sich im östlichen Hinterland Böschungen, deren Geländeprofil bis zu einer maximalen Höhe von +145 m NHN (Absetzerhochkippe), im nördlichen Teil bis zu +138 m NHN und in weiterer Entfernung zum Ufer bis zu +155 m NHN (Hoch- u. Außenkippe Maukendorf) ansteigt. Neben den gegenüber der Westseite deutlich höheren Lagen zeichnet sich die Ostböschung darüber hinaus durch ausgesprochen steile Böschungsbereiche aus, die teilweise noch den Böschungswinkel der früheren Kippenschüttung aufweisen.

Der Knappensee sowie sein unmittelbares Umfeld werden überwiegend touristisch und forstwirtschaftlich genutzt. Folgende Nutzungsflächen sind dabei um den See vorhanden:

- im Osten die auf der Hochkippe gelegene Feriensiedlung Knappenhütte,
- im südlichen Teil der Ostböschung (Koblenzer Strand) Hotels, Bungalows und Gaststätte,
- im Südosten und Süden Ferienanlage mit Campingplatz, Bungalows, Einrichtungen des Freizeitsportes,
- im Südwesten und Westen neben dem für die Speicherbewirtschaftung vorhandenen Randdamm, Bungalows, Anglerheim, forstwirtschaftliche Flächen,
- im Westen Waldstreifen,
- im Norden die Bungalowsiedlung Maukendorf mit dem sich anschließenden Campingplatz und der nordöstlich gelegenen Hochkippe (Außenkippe) Maukendorf mit forstwirtschaftlicher Nutzung.

Planungstechnisch sind die im Rahmen der Gefahrenabwehrmaßnahmen zu sichernden Bereiche in Abschnitte unterteilt und mit den Buchstaben U, T, S, G, F, D Ost, D Mitte, E, D West, B und A gekennzeichnet.

Das Bearbeitungsgebiet sowie die Planungsabschnitte sind im Lageplan der Anlage 1 dargestellt.

3.2 Technologische und historische Entwicklung des Bearbeitungsgebietes

Eine ausführliche Übersicht zur Tagebauentwicklung und eine Übersicht zu gegangenen Rutschungen im Bereich des Knappensees ist der Unterlage [6] zu entnehmen.

Im Jahre 1915 erfolgte der Aufschluss der Lagerstätte Werminghoff I nördlich des heutigen Knappensees. Dabei wurden die Aufschlussmassen als Außenkippe nördlich des Bereiches U auf Gewachsenem verkippt. Der Kohleabbau entwickelte sich im Schwenkbetrieb von Ost nach West, später von Nord nach Süd. Während in den anfänglichen Betriebsperioden der Abraum mittels Absetzer verkippt wurde, erfolgte der Versturz der Abraummassen ab 1929 mittels Abraumförderbrücke (AFB-Kippe). Durch den Förderbrückenbetrieb wurden die Abraummassen strossenparallel zur Abraumgewinnung direkt als Innenkippe verstürzt. Die Verkippungstechnologie der Abraumförderbrücke charakterisiert hauptsächlich im mittleren bis hin zum südlichen Teil des Sees die Morphologie der Kippenoberfläche, also im Speziellen die des Seebodens sowie der aus dem See herausragenden Inseln.

An den südlichen Tagebaurandbereichen verblieben Restlöcher (A im Westen und B im Osten), die später mit Material des Tagebaues Werminghoff II durch Verspülen (Spülkippe) und Verstürzen (Hand-/Pflugkippe) verfüllt wurden. An der Westböschung des Tagebaues verblieb zwischen AFB-Kippe und Einschnittböschung (Gewachsenem) ein technologisch bedingter ca. 50 m breiter Randschlauch. An die Anschnittböschung wurde ebenfalls Material des Tagebau Werminghoff II in Form einer Handkippe angeschüttet. An der heutigen Ostböschung des Knappensees wurde die Brückenkippe des Tagebaus Werminghoff I mit einer Absetzerkippe überschüttet. Anhand der Kippenentwicklung und deren Verbreitung wird deutlich, dass nahezu an allen späteren Uferböschungen des Knappensees Kippenmaterialien abgelagert wurden.

Während der Betriebszeit traten immer wieder Rutschungen an den Kippen und Tagebauböschungen auf. Die größte Rutschung mit einem Volumen von ca. 4,5 Mio. m³ wurde 1941 verzeichnet. Die Rutschung begann im Bereich des Restloches B und erreichte mit ihrem Rückgriff die Hochkippenböschung im Bereich der Ostböschung des Knappensees (heutiger Planungsabschnitt S).

Mit Ende des Jahres 1937 war der westliche Feldesteil des Tagebaus Werminghoff I (der heutige Knappensee - das Bearbeitungsgebiet) ausgekohlt.

Der Knappensee entstand im Jahre 1945 durch eine unkontrollierte Flutung des westlichen Feldesteiles des ehemaligen Tagebau Werminghoff I.

3.3 Geologische Situation und Kippenverhältnisse

Geologische Situation und Kippenzusammensetzung

Die früheren geologischen Verhältnisse am Standort sind ausführlich in [6] zusammengefasst und beschrieben.

An dieser Stelle sollen die wesentlichen Aussagen kurz zusammengefasst werden. Das Deckgebirge des ehemaligen Tagebaues Werminghoff I war im Mittel durch folgende geologische Verhältnisse bestimmt [73]:

- 6 m bis 12 m mächtige Talsande,
- 0,5 m bis 4,5 m mächtige interglaziale Ablagerungen,
- bis 5 m mächtige grundmoränenartige Bildungen und
- örtlich tertiäre Ablagerungen.

Das Kohleliegende / Liegende des 2. Lausitzer Flözhorizontes wurde von + 96,00 m NHN bis ca. + 101,00 m NHN angetroffen. Generell ist ein flaches Einfallen des Flözes von Süd nach Nord zu verzeichnen.

Für das Untersuchungsgebiet ist festzustellen, dass die aus dem Tagebau Werminghoff II stammenden Abraummassen einen durchschnittlich größeren Feinkornanteil besitzen als die Abraummassen aus dem Tagebau Werminghoff I (Brückenkippe, Außenkippe Maukendorf).

Kippenverhältnisse

Auf Grundlage der ursprünglichen geologischen Verhältnisse kann davon ausgegangen werden, dass im Bearbeitungsgebiet hauptsächlich sandig-kiesige und zum Teil auch schluffige Kornfraktionen anstanden, aus denen gegenüber ihrer ursprünglichen Kornverteilung entmischte und fraktionierte Bereiche mit einer enggestuften Kornverteilung entstanden sind. Die am Knappensee vorhandenen Kippenbereiche zeichnen sich über ihre Mächtigkeit gesehen durch eine große Heterogenität aus.

Anhand der dokumentierten Kippenhistorie sowie den seit den 1980er Jahren ausgeführten Untersuchungskampagnen können die Kippenverhältnisse den technologischen Kippenkategorien Absetzerkippe, AFB-Kippe, Spülkippe, Rutschungsmassen und Hand- oder Pflugkippe zugeordnet werden.

Generell lassen sich die folgend beschriebenen Verhältnisse ableiten [6].

Die Sohle des ursprünglichen Tagebaues befindet sich im Höhenniveau zwischen + 96,00 m NHN und + 101,00 m NHN, wobei entsprechend dem ursprünglichen Flözeinfallen die Tagebausohle im Norden tiefer als im Süden liegt. Die Seesohle des Knappensees wird im Süden durch die Oberfläche der Brückenkippe, die aus Material des Tagebaues Werminghoff I besteht, gebildet. Im Bereich der Rutschung von 1941 ist die Morphologie des Untergrundes durch die damit verbundenen Umlagerungen geprägt. Massen aus dem Tagebau Werminghoff II dürften hier die aus dem Tagebau I überlagern oder mit diesen gemischt sein. Die Ufer im Südosten und Osten bis zum nördlichen Ende des ehemaligen Steilufers werden durch mittels Pflug oder Absetzer verkippte Massen aus dem Tagebau Werminghoff II gebildet, die die Massen der Brückenkippe und somit Material aus dem Tagebau Werminghoff I überlagern. Der Seegrund im Norden wird aus einer Spülkippe gebildet, in die Material aus dem Tagebau Werminghoff I verspült wurde. Sie überlagert die Rutschungsmassen der Rutschung vom 19.11.1930. Die Spülkippe schließt im Hinterland direkt an den gewachsenen Boden im Bereich der Tagebauberme an. Weiter nördlich folgt die Außenkippe Maukendorf (Absetzerkippe), die ebenfalls größtenteils auf dem Gewachsenem aufsitzt. Im Nordosten wird der Seegrund vorwiegend aus Spülkippen gebildet, die die Absetzerkippen des Tagebau Werminghoff I überlagern. Im unmittelbaren Hinterland des östlichen Uferbereiches schließt sich die Absetzerhochkippe an, in die Material aus dem Tagebau Werminghoff I verkippt wurde. Die Hochkippe lagert im nördlichen Teil auf der Absetzerkippe des Tagebau Werminghoff I und im südlichen Teil auf der Brückenkippe.

Im Nordwesten verläuft die Uferböschung weitestgehend identisch mit der oberen Abraumkante. Der Tagebaurandböschung ist eine Spülkippe vorgelagert, in die Abraummaterial aus dem Tagebau Werminghoff II verspült wurde.

Im westlichen Uferbereich wurde an die bestehende Randböschung des Tagebaus Abraum in Form einer Handkippe angeschüttet, so dass die Abraumkante überwiegend westlich der Uferlinie verläuft. Als Abraummaterial wurden Massen des Tagebaus Werminghoff II in den technologisch verbliebenen Raum zwischen Brückenkippe und Gewachsenem verkippt. Dem westlichen Uferbereich sind die Inseln vorgelagert, die Höhenlagen innerhalb der Brückenkippe darstellen. Das Brückenkippenmaterial besteht aus Abraum des Tagebau Werminghoff I, der über die Förderbrücke im Direktsturzverfahren verkippt wurde.

In die ehemals an der südlichen Tagebaugrenze verbliebenen und bereits teilweise mit Wasser gefüllten Restlöcher A und B erfolgte ein Einspülen von Material aus dem Tagebau II. In das Restloch B lagerten sich zusätzlich Rutschungsmassen der großen Rutschung aus dem Jahre 1941 ab. Oberflächennah sind in den Bereichen D Ost und D West Handkippen anzutreffen, die über das bestehende Ufer in den See hinein reichen.

3.4 Hydrogeologische Verhältnisse

Die Lagerstätte des ehemaligen Tagebaues Werminghoff wird durch zwei SW nach NE streichende und im NE aufeinander zulaufende pleistozäne Auswaschungsrinnen begrenzt. Dies ist im Westen des Tagebaues Werminghoff I die Maukendorfer Rinne und im Osten die Koblenzer Rinne. Nördlich des Tagebaurestloches befindet sich die Hoyerswerda - Weißkollmer Rinne. Die vorhandenen Grundwasserleiter sind mit den großen pleistozänen Auswaschungsrinnen gekoppelt. Die Entwässerung der Rinnen erfolgt in Richtung Urstromtal [56].

Der vorbergbauliche Grundwasserspiegel hatte ein Einfallen von ca. + 127,00 m NHN im Süden auf + 120,00 m NHN im Norden. Die Geländehöhen vor Aufschüttung der Kippen betrugen + 125,00 m NHN bis + 128,00 m NHN. Durch Dünenbildungen waren lokal auch Höhen von + 130,00 m NHN vorhanden [56].

Mit Auskohlung des Tagebaus Werminghoff I im Jahre 1944 verblieb im Westteil sowie im Ostteil der ehemaligen Grube jeweils ein großräumiges Restloch. Das westliche Restloch wurde infolge eines Hochwassers 1945 unkontrolliert geflutet. Damit entstand der heutige Knappensee. Der See besitzt eine Wasserfläche von ca. 250 ha. Innerhalb des Knappensees befinden sich Inselflächen mit einer Gesamtgröße von ca. 30 ha.

Gespeist wird der Knappensee durch das Schwarzwasser (südliches Ufer), den zeitweise wasserführenden MTS-Graben und den Koblenzer Graben (südöstlicher Uferbereich). Der Knappensee wird als „Wasserspeicher Knappenrode“ genutzt. Über ein Auslaufbauwerk der LTV wird das aus dem See abgegebene Wasser dem Verteilerwehr südlich Maukendorf zugeleitet. Dieses Verteilerwehr regelt die Speisung des Schwarzwassers und des Schwarzen Grabens.

Der Wasserspiegel im Knappensee unterliegt Schwankungen jahreszeitlicher und wasserwirtschaftlicher Natur. Nach mehreren, durch Maßnahmen zur Minderung der Gefährdungen bedingten Schwankungen wurde im Jahr 1991 ein oberstes Betriebsstauziel von +125,50 m NHN festgelegt. Im Fall des Eintretens von Hochwasserperioden ist ein maximaler Höchststau von +126,00 m NHN ohne schädliche Auswirkungen auf die Standsicherheit der Uferböschungen und Dämme definiert. Zur Vermeidung von Brüchen an Unterwasserböschungen sollte der Wasserstand möglichst nicht unter +123,50 m NHN abgesenkt werden.

Seit seiner Flutung im Jahre 1945 betrug der bisherige Maximalstau im Knappensee ca. +126,60 m NHN im Juli 1981.

Im Zusammenhang mit der Flutung des Restlochs D/F (Graureihersee, geplant in 2018) ist insbesondere im Hinterland der südlichen Ostböschung noch mit einem Grundwasseranstieg und damit mit einer Änderung der Strömungssituation zu rechnen. Das Grundwasser strömt in diesem Abschnitt allgemein aus südlicher bis südöstlicher Richtung zu und fließt in nördliche bis nordöstliche Richtung (Restloch D/F) ab. Lokal wird die Grundwasserströmungsrichtung durch den jeweiligen Wasserstand im Knappensee beeinflusst.

3.5 Gefährdungssituation

Die geotechnischen Verhältnisse an den Uferbereichen des Knappensees lassen sich aufgrund der Kippenhistorie, der Morphologie und des Nutzungsumfanges unterscheiden. Eine zusammenfassende Beschreibung liefert die nachfolgende Tabelle 1.

Eine ausführliche Beschreibung der vorhandenen geotechnischen Situation ist in der Unterlage [6] ersichtlich.

Der Knappensee ist ein öffentliches Gewässer. Der See selbst und große Teile der Uferbereiche sowie des Böschungshinterlandes sind für die Öffentlichkeit zugänglich und werden für Wohn- und Naherholungszwecke sowie umfangreich touristisch genutzt. Der Knappensee fungiert als Bade- und Angelgewässer. Er wird auch für den nicht motorgetriebenen Bootsverkehr und im Rahmen von Wassersportveranstaltungen genutzt.

Im Böschungshinterland bestehen Siedlungen mit teilweise dauerhafter Wohnnutzung sowie gewerblich genutzten Immobilien. Die im Böschungsbereich und dessen Hinterland vorhandenen Waldflächen unterliegen einer forstwirtschaftlichen Nutzung.

Der Knappensee dient der Landestalsperrenverwaltung (LTV) als Speicheranlage. Mit dieser Anlage wird der Hochwasserschutz für die am Unterlauf vorhandenen Ortschaften (bis einschließlich Hoyerswerda) und Gebiete sichergestellt. Daneben wird durch den Knappensee eine Niedrigwasseraufhöhung für die nachfolgenden Gewässer und Schutzgebiete sichergestellt.

Die derzeit geplanten Sicherungsmaßnahmen zur Gefahrenabwehr stellen die planerische Grundlage für die auszuführende Alternativenprüfung dar. Im Folgenden werden Planungsstände und die geplanten Maßnahmen bereichsbezogen aufgezeigt.

Die Maßnahmen zur Ufer- und Hinterlandsicherung befinden sich in unterschiedlichen Planungsphasen und -tiefen. In der folgenden Tabelle 1 sind die aktuellen Planungsstände ersichtlich.

Tabelle 1: Geotechnische Verhältnisse und Planungsstände der einzelnen Uferabschnitte

Uferabschnitt	**Bereiche A und B Nord**
Situation:	Diese Bereiche sind durch schmale Kippenflächen charakterisiert.
Kippen-verhältnisse:	Aus den Altunterlagen ist bekannt, dass an das ehemalige Anschnittböschungssystem Abraummaterial in Form einer Handkippe angelagert wurde. Kennzeichnend für diese Kippenmaterialien ist die sehr lockere Lagerung der sandigen Böden. Im Bereich des Seeufers wurden bis an den restlochseitigen Dammfuß des Maukendorfer Absperrdammes Kippenmächtigkeiten von 4 m bis 7 m erkundet.
Böschungs-verhältnisse:	In diesem Teilabschnitt besteht nur ein schmaler Uferstreifen, der gering geneigt ist. Daran schließt sich der Hochwasserschutzdamm an, der seeseitig eine Böschungsneigung von ca. 1:2 (26,6 °) aufweist.
Unterwasser-böschung:	Die Uferböschung unterhalb des Wasserspiegels teilt sich in einen stärker geneigten Abschnitt (ca. Höhenniveau +125,0 m NHN bis +122,0 m NHN) und einen sich daran anschließenden gering geneigten Bereich (ca. Höhenniveau +122,0 m NHN bis +117,0 m NHN) auf. Im oberen Böschungsabschnitt liegt die Böschungsneigung bei etwa 1:2,6…1:9,4 (21 °…6 °). Der bis zur Seesohle reichende Böschungsabschnitt ist kaum geneigt und weist nur Böschungsneigungen von 1:17…1:40 (3 °…1,5 °) auf.
Vorhandene Nutzung:	Im Uferbereich verläuft der Hochwasserschutzdamm des Speicherbeckens Knappenrode. Dieser wird neben der Hochwasserschutzfunktion als Teil des Rundweges um den Knappensee als Rad- und Wanderweg genutzt. Am nördlichen Ende des Planungsabschnittes befindet sich das Auslassbauwerk der LTV. Dieses regelt das Einstauniveau des Knappensees und besitzt damit eine wasserwirtschaftliche Funktion.
Gefahrensituation:	Für den Bereich A und B Nord (Uferbereich bis zum Fuß des Hochwasserschutzdammes) besteht Setzungsfließgefahr.
Planungsstand Gefahrenabwehr:	Ausführungsplanung (Aktualitätsprüfung erforderlich), [33]

Uferabschnitt	**Bereich B Süd**
Situation:	Der Bereich Süd stellt den ehemaligen Randbereich des Tagebaues zwischen Anschnittböschung und Abraumförderbrückenkippe dar.
Kippenverhältnisse:	In zwei Abschnitten verläuft die obere Abbaukante westlich der Uferlinie. Parallel zur Uferböschung verläuft neben dem ehemaligen Randschlauch der AFB eine aus Förderbrückenkippenmassen gebildete langgezogene Insel. Das Hinterland wird durch das Gewachsene repräsentiert.
Böschungsverhältnisse:	Die Uferböschung weist Höhen bis maximal 2,5 m auf und ist mit 18° bis 20° geneigt.
Unterwasserböschung:	Die Unterwasserböschungen sind bis 7,1° geneigt.
Vorhandene Nutzung:	Neben der Nutzung des Hochwasserschutzdammes als Teil des Knappenseerundweges (Wald-, Rad- und Wanderweg) erfolgt überwiegend eine forstwirtschaftliche Nutzung.
Gefahrensituation:	Für den B Süd (Uferbereich bis zum Fuß des Hochwasserschutzdammes) besteht Setzungsfließgefahr.
Planungsstand Gefahrenabwehr:	Vorplanung, [36]
Uferabschnitt	**Bereich C**
Situation:	Überhöhungen der Förderbrückenkippe ragen als Inseln aus dem Wasser.
Kippenverhältnisse:	Durchgeführte Rammsondierungen weisen lockere bis sehr lockere Lagerungsdichten aus. Die Beprobung hat das Kippgut als überwiegend normal abgestuften Sand von runder Kornform mit Feinkornanteilen d ≤ 0,06 mm von weniger als 10 % ausgewiesen. Die Rippenscheitel sind häufig morphologisch noch ausgeprägt. Bewuchs bedeckt die Oberfläche bis in Ufernähe.
Böschungsverhältnisse:	Die Böschungen in den Uferbereichen und unter Wasser sind flach ausgebildet.
Unterwasserböschung:	Zwischen den Inseln und in den Buchten treten nur geringe Wassertiefen von wenigen Metern auf.
Vorhandene Nutzung:	Die Inseln wurden mit Ausführung der Schutzgrabenbaggerung im Jahre 2007 gegen ein unbeabsichtigtes Betreten gesichert. Als Verhaltensanforderung besteht ein Betretungsverbot.
Gefahrensituation:	Für den Bereich C (Uferbereich) besteht Setzungsfließgefahr.
Planungsstand Gefahrenabwehr:	Vorplanung, [36]

Uferabschnitt	**Bereich D Ost**
Situation:	Der Kippenabschnitt D Ost ist im Hinterland der Uferböschung durch flache Geländeverhältnisse und eine relativ geringe Breite (max. 95 m) charakterisiert.
Kippen-verhältnisse:	Zwischen der ehemaligen oberen Abraumkante und der Uferlinie aber auch darüber hinaus stehen locker gelagerte Handkippen mit überwiegend sandigem Material mit einem maximalen Feinkornanteil von 20 % mit runder Kornform an.
Böschungs-verhältnisse:	Die gekippten Uferböschungen besitzen Höhen zwischen 2 m und 3 m. Das Kippenhinterland ist maximal 95 m breit und flach ausgebildet.
Unterwasser-böschung:	Der Seegrund ist flach mit ca. 4° geneigt.
Vorhandene Nutzung:	Der Bereich wird überwiegend freizeitlich als Campingplatz mit Uferpromenade und Strand genutzt. Es sind Bebauungen in Form von Bungalows und Finnhütten zu verzeichnen. Für die Nutzung der Baulichkeiten existiert ein entsprechendes Netz an Versorgungs- und Entsorgungsleitungen. Im schmalen Hinterland verlaufen Zufahrts- und Bewirtschaftungswege. Im nordöstlichen Randbereich des Abschnittes befindet sich der Koblenzer Graben als eines der Zuläufe zum Knappensee. Im südwestlichen Randbereich existiert ein verrohrter Zulauf von Agrarwässern („MTS-Graben“).
Gefahrensituation:	Im Uferabschnitt D Ost sind untertägige Strecken mit nicht definiertem Verwahrungszustand vorhanden. Die Wahrscheinlichkeit von Initialeinträgen im Abschnitt D Ost aus Zubruchgehen von Resthohlräumen wird gemäß den durchgeführten Erkundungen als sehr gering eingestuft. Für den Bereich D Ost (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.
Planungsstand Gefahrenabwehr:	Entwurfsplanung, [16]
Uferabschnitt	**Bereich D Mitte**
Situation:	In diesem Abschnitt ist innerhalb des flach ausgeprägten Hinterlandes ein ca. 90 m breiter Kippenbereich eingelagert.
Kippen-verhältnisse:	In diesem Bereich lagert eine Handkippe über einer Berme des Tagebaues Werminghoff I. Es sind lockere Lagerungsverhältnisse vorhanden.
Böschungs-verhältnisse:	Am Ufer ist eine 1,3 m bis 1,7 m hohe Böschung vorhanden.
Unterwasser-böschung:	Die Unterwasserböschung ist mit ca. 3° flach geneigt.
Vorhandene Nutzung:	In diesem Abschnitt ist neben dem Uferbereich mit Hinterland, in dem Bäume und eine Wiesenfläche vorhanden sind, keine ausgeprägte Nutzung vorhanden.
Gefahrensituation:	Für den Bereich D Mitte (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.
Planungsstand Gefahrenabwehr:	Vorplanung, [36]

Uferabschnitt	**Bereich E (E 1 und E 2)**
Situation:	Als Bereich E sind diejenigen Abschnitte der Südböschung gekennzeichnet, an denen die Uferlinie im gewachsenen Lockergestein liegt.
Kippen-verhältnisse:	Der Böschung im Gewachsenen sind eingespülte Kippenböden vorgelagert.
Böschungs-verhältnisse:	Im Abschnitt E 1 besteht der Uferbereich aus einem mit ca. 6° flach geneigtem Strandabschnitt
Unterwasser-böschung:	Die Unterwasserböschungen im Abschnitt E 1 betragen maximal 10°.
Vorhandene Nutzung:	Der Abschnitt E wird als Strand sowie auch als Zufahrt und Zuwegung zum See genutzt. Weiterhin sind verschiedene Bebauungen und gastronomische Einrichtungen vorhanden. Entsprechende Versorgungs- und Entsorgungsleitungen verknüpfen die Objekte
Gefahrensituation:	Die dem Ufer vor gelagerten unverdichteten Kippenmassen wurden im Abschnitt E im Jahr 2010 mittels seeseitiger Verdichtung gesichert. Eine Setzungsfließgefahr ist in diesen Abschnitten nicht gegeben.
Planungsstand Gefahrenabwehr:	Gefahrenabwehr erfolgreich durchgeführt
Uferabschnitt	**Bereich F**
Situation:	Der Abschnitt F repräsentiert einen sich im Hinterland des Abschnittes G befindlichen Bereich, der sich östlich der Hochkippe befindet und einer intensiven öffentlichen Nutzung unterliegt.
Kippen-verhältnisse:	Die auf dem Kohleliegenden aufsitzende Brückenkippe wird durch eine Absetzerkippe oder Handkippe (Pflug-) überlagert. Die Kippenmateralien sind durch überwiegend lockere Lagerungsverhältnisse gekennzeichnet.
Böschungs-verhältnisse:	Der Bereich F ist durch flache Geländeverhältnisse charakterisiert.
Unterwasser-böschung:	Keine
Vorhandene Nutzung:	Die Nutzung im Norden (RL 0815/1) erfolgt forstwirtschaftlich und im Süden durch eine Hotelanlage sowie Ferienwohnungen und Wohnbebauung. Die Gebäude sind durch entsprechende Versorgungs- und Entsorgungsleitungen erschlossen.
Gefahrensituation:	Für den Bereich F besteht in Verbindung mit dem vorgelagerten Uferbereich G Setzungsfließgefahr. Im gesamten Bereich F (Hinterland) besteht weiterhin die Gefahr von Geländeeinbrüchen.
Planungsstand Gefahrenabwehr:	Vorplanung, [13]

Uferabschnitt	**Bereich D West**
Situation:	Die Kippen reichen bis zu 200 m niveaugleich in das Hinterland. Im Bereich D West bestehen flache Geländeverhältnisse im Kippenhinterland.
Kippen-verhältnisse:	Zwischen der ehemaligen oberen Abraumkante und der Uferlinie stehen Handkippen an, die auf dem Baggerplanum oder verspültem Kippgut aufliegen. Im westlichen Abschnitt des Bereiches D weisen die Ramm- und Drucksondierungen unter der locker gelagerten Handkippe eine mitteldicht gelagerte Spülkippe aus. Bis zum Liegenden stehen unterhalb dieser wiederum locker gelagerte Massen an.
Böschungs-verhältnisse:	An der Wasserlinie sind kleinere Höhensprünge von ca. 1,0 m vorhanden.
Unterwasser-böschung:	Die Unterwasserböschungen sind mit ca. 4,5° gering geneigt. Im Bereich D West sind dem Uferbereich die Inseln (Bereich C) gegenübergelagert.
Vorhandene Nutzung:	Im Abschnitt D West ist eine intensive freizeitliche Nutzung durch Anglerverein, Uferpromenade, Anlegestellen u.a. vorhanden. Das Hinterland wird forstwirtschaftlich genutzt. Im Abschnitt sind Zufahrten zu den Gebäuden sowie Waldwege vorhanden.
Gefahrensituation:	Im Abschnitt D West sind Altstrecken mit unbekannten Verwahrungsgrad oder ohne umfassenden Verwahrungsnachweis vorhanden. Resthohlräume können beim Zubruchgehen als Initial wirken. Für den Bereich D West (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht aufgrund der vorhandenen Kippenverhältnisse Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.
Planungsstand Gefahrenabwehr:	Vorplanung, [36]

Uferabschnitt	**Bereich G**
Situation:	Im Abschnitt G sind Kippenmaterialien mit einer besonders geringen Lagerungsdichte anzutreffen.
Kippen-verhältnisse:	Der Uferbereich und der dahinterliegende Geländestreifen bis zur Hochkippe bestehen aus einer sehr locker gelagerten Pflugkippe, die auf der AFB-Kippe, die bis zum Liegenden reicht, aufsitzt. Die Ausbildung der Kippe ist als sehr inhomogen einzustufen. Es wurden überwiegend Sande verkippt, deren Kornverteilung in dem zur Verflüssigung neigenden Bereich liegt. Die Feinkornanteile der vorhandenen Kippenmaterialien (Pflug- und AFB-Kippe) schwanken von ca. 10 % bis ca. 20 %. Die Materialien der Absetzerhochkippe zeigen hinsichtlich ihrer Kornverteilung schluffige Fein- bis Mittelsande mit einem mittleren Feinkornanteil von ca. 17 %.
Böschungs-verhältnisse:	Die Böschungen über Wasser am Ufer sind sehr steil und betragen ca. $\beta = 35°$. Lokal sind Versteilungen vorhanden. Die Kippenböschung befindet sich damit im Grenzgleichgewicht.
Unterwasser-böschung:	Der Seeboden wird durch die ehemalige Oberfläche der AFB-Kippe charakterisiert und ist flach geneigt (1,1° bis 2,8°). Die flachsten Neigungen sind dabei im Nordteil anzutreffen.
Vorhandene Nutzung:	Der Bereich wird überwiegend freizeitlich als Campingplatz mit Uferpromenade und Strand genutzt. Es sind bebaute Grundstücke (auch im Hinterland – Bereich F) mit Infrastruktur und Medien vorhanden.
Gefahrensituation:	Für den Bereich G (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.
Planungsstand Gefahrenabwehr:	Entwurfs- und Genehmigungsplanung [9] Ausführungsplanung, [7]

Uferabschnitt	**Bereich S**
Situation:	Der nördliche Teilabschnitt des Uferbereiches S zeichnet sich durch eine ähnliche Kippengenese wie im Nachbarbereich T aus.
Kippen-verhältnisse:	Die Kippe baut sich aus einer Pflugkippe mit einer überlagernden Absetzerkippe auf. Im Gegensatz zum Bereich T ist im Uferabschnitt S keine Spülkippe vorgelagert. Im südlichen Teil des Uferabschnittes wurde bis 1940 ebenfalls eine Pflugkippe betrieben. Über die Pflugkippe wurde eine Absetzerkippe geschüttet. Die Massen, die mit dem Absetzer abgelagert wurden, stammten aus dem Tagebau Werminghoff II. Für den Uferbereich S ist eine große Rutschung dokumentiert. Diese ereignete sich im Jahre 1941 und umfasste ca. 4,5 Mio. m³ Material und beeinflusst den gesamten mittleren Teil des heutigen Knappensees. Im Ergebnis der Rutschung entstand die ehemalige Steilböschung im Uferabschnitt. Diese Steilböschung wurde im Zuge von ersten Sanierungsmaßnahmen in den 80iger Jahren des vergangenen Jahrhunderts durch Abspülen abgeflacht. Die Uferböschung sowie das sich daran anschließende Hinterland bestehen aus gekipptem Material. Die Mächtigkeit der Kippenablagerung beträgt ca. 24 m … 45 m.
Böschungs-verhältnisse:	An den Uferbereich schließt sich ein flach geneigtes Hinterland an. Bis zum Böschungsfuß der abgespülten Hochkippenböschung betragen die Neigungen des Uferhinterlandes ca. 1,1° …2,9°. Die Hochkippe wurde im zentralen Bereich des Uferabschnitts S durch Abspülmaßnahmen auf eine Neigung von 1:5,5 … 7,0 abgeflacht. In einem etwa 130 m breiten Böschungsbereich im Übergang zum südlich gelegenen Uferabschnitt G besitzt die Hochkippe eine Neigung von ca. 36,5°, die weitgehend der Neigung bei der Schüttung im Tagebaubetrieb entspricht.
Unterwasser-böschung:	Im Unterschied zu den in den Nachbarbereichen ausgebildeten Neigungen der Unterwasserböschung weist die Seesohle im Abschnitt S relativ steile Neigungen von 4,5° … 10,1° auf. Diese Unterwassermorphologie ist noch ein Resultat der oben beschriebenen Rutschung.
Vorhandene Nutzung:	Im Bereich S besteht freizeitliche (Badebetrieb)und forstwirtschaftliche Nutzung.
Gefahrensituation:	Aus den Aufschlüssen ist zu entnehmen, dass die anstehenden Kippensande eine bereichsweise lockere bis sehr lockere Lagerung im wassergesättigten Bereich aufweisen. Diese Lagerung resultiert aus den niedrigen Schütthöhen des seinerzeit eingesetzten Absetzers. Die Verdichtungswirkung der damaligen Schütttechnologie ist vergleichbar mit der einer Pflugkippe. Aufgrund der vorhandenen lockeren Lagerung ist auch nach dem Abspülen der Hochkippe eine Verflüssigungsgefahr gegeben. Das Hinterland ist durch Kippen gekennzeichnet. Das Ufer wird als Badestrand genutzt. Die Nutzung ist bezüglich des Einsatzes von erschütterungsintensiven Geräten eingeschränkt. Es besteht ein Bauverbot. Für den Bereich S (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.
Planungsstand Gefahrenabwehr:	Entwurfs- und Genehmigungsplanung [10] Ausführungsplanung, [7]

Uferabschnitt	**Bereich T**
Situation:	Im Uferbereich in T ist im anschließenden Hinterland eine Hochkippe vorhanden.
Kippen - verhältnisse:	Die Kippenverhältnisse im Uferbereich des Abschnittes T werden an der nördlichen und südlichen Grenze durch Spülkippen charakterisiert, die die Massen der Rutschungen aus den Jahren 1930 und 1937 überlagern. Die Rutschungsmassen sind überwiegend locker gelagert, wobei die Spülkippe auch mitteldichte Lagerung erreicht. Zwischen beiden Rutschungsbereichen überlagern die Spülkippen mit geringer Mächtigkeit (wenige Meter) eine Absetzerkippe mit geringer Lagerungsdichte. Im Hinterland schließt die Spülkippe an die Absetzerhochkippe an, wobei die vorgelagerte und die Spülkippe noch überlagernde 1. Berme in die Charakteristik einer Pflug- oder Handkippe einzuordnen ist. Die Spülkippe sowie die Absetzerhochkippe lagern auf einer Absetzerkippe des Tagebaus Werminghoff I auf. Die Absetzerhochkippe selbst besteht aus Abraummaterial des Tagebaus Werminghoff II.
Böschungs- verhältnisse:	Die Böschungsneigungen im Hinterland betragen bis zu $\beta = 45°$. Die Kippenböschung befindet sich damit im Grenzgleichgewicht. Der Uferbereich ist, außer am südlichen Ende des Abschnittes T, flach und ohne Böschung geneigt. Die Gefahr von größeren Böschungsbrüchen als Primärereignis ist als gering einzuschätzen. Kippengelände (Absetzerhochkippe) bildet das Hinterland.
Unterwasser- böschung:	Die Neigung der Unterwasserböschung liegt entsprechend den Lotungsergebnissen für die Geländeschnitte zwischen 1,4° und 3,5° (im Mittel 2,1°). Signifikant abweichend von dieser Situation ist die relativ steile Neigung (13,0°) im Südteil des Bereiches T im Übergang zum Abschnitt S (ehemaliger Steiluferbereich).
Vorhandene Nutzung:	Das Hochkippenplateau wird im Bereich der Siedlung Knappenhütte als Wohnstandort genutzt. Der vorgelagerte Uferbereich unterlag bisher mit Zeltplätzen, Bootsverleih und Anglerverein einer Nutzung für Freizeit und Erholung.
Gefahrensituation:	Für den Bereich T (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.
Planungsstand Gefahrenabwehr:	Entwurfs- und Genehmigungsplanung [11] Ausführungsplanung, [7],

Uferabschnitt	**Bereich U**
Situation:	Dieser Bereich am Nordufer lässt sich in einen westlichen Abschnitt und einen nördlichen Abschnitt einteilen. Der westliche Teilbereich des Uferabschnitts U schließt sich nördlich an das Auslaufbauwerk an. Den Hauptteil des Uferabschnitts U nimmt die Nordböschung ein, die sich westlich an den Maukendorfer Randdamm bzw. an das dort befindliche Verteilerbauwerk der LTV Sachsen anschließt.
Kippenverhältnisse:	Westlicher Teil: Die Böschung wird durch die im Tagebaubetrieb hergestellte Anschnittsböschung gebildet. Ähnlich wie im südlich anschließenden Bereich A ist mit der Anschüttung von Kippenmaterialien in Form einer Handkippe zu rechnen. Über Mächtigkeit und Ausdehnung der Kippenanschüttung liegen keine Informationen vor. Nördlicher Teil: Die Kippe besteht aus einer Spülkippe, die auf gerutschten Massen einer Absetzerkippe liegt. Eine überlagernde Pflug- oder Handkippe kann nicht ausgeschlossen werden. Die heute vorliegende Böschungsoberfläche wurde im Tagebaubetrieb durch ein Verspülen von Kippenmaterial hergestellt. Die Gesamtmächtigkeit der Kippenmaterialien beträgt 25 m bis 34 m. Es sind stark heterogene Verhältnisse vorhanden.
Böschungsverhältnisse:	Westlicher Teil: Die Böschungen sind relativ steil ausgebildet. Das Böschungshinterland ist sehr flach ausgebildet und liegt im Niveau von ca. +125,00 m NHN bis +125,50 m NHN. Bei einem Einstau auf das Niveau +126,0 m NHN wird dieser Bereich vollständig überflutet. Nördlicher Teil: Die vorhandenen Böschungsneigungen betragen bis zum Böschungsfuß der Hochkippenböschung 0,9° bis 3,0°
Unterwasserböschung:	Westlicher Teil: Im Höhenbereich von +117,00 m NHN bis +125,00 m NHN ist eine Unterwasserböschungsneigung von 16,3 °… 27,1 ° zu verzeichnen. Nördlicher Teil: Die Neigung der Unterwasserböschungen liegt im Bereich von 0,9 ° bis 3,0 °.
Vorhandene Nutzung:	Westlicher Teil: Das Hinterland weist einen starken Schilfbewuchs und unterschiedlich dichten Baumbewuchs auf. Dieser Böschungsbereich unterliegt neben der Hochwasserschutzfunktion keiner weiteren Nutzung. Nördlicher Teil: Es erfolgt eine intensive freizeitliche Nutzung in Form der Grundstücksbebauung mit Bungalows.
Gefahrensituation:	Reste unterirdischer Entwässerungsstrecken befinden sich im nördlichen Uferbereich des Abschnittes U im Bereich der Auskohlungsgrenze. Die Strecken wurden in den 1970er Jahren verwahrt. Eventuell noch vorhandene Hohlräume durch unzureichenden Versatz können beim Zubruchgehen als Initial wirken. Daraus ergibt sich, dass aus diesen Streckenfragmenten eine deutliche Erhöhung der Setzungsfließgefahr resultiert. Für den Bereich U (Uferbereich und dessen Hinterland) besteht Setzungsfließgefahr sowie Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung.
Planungsstand Gefahrenabwehr:	Entwurfsplanung [17]

3.6 Definition Sicherheitslinie

Die Sicherheitslinie umgrenzt die Flächen, auf denen unmittelbare Auswirkungen aus den Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen, aus der Speicherbewirtschaftung oder allgemein durch Initialeinträge ausgelöste Setzungsfließrutschungen nicht ausgeschlossen werden können (Gefährdungsbereich).

Der Verlauf der Sicherheitslinie wird in erster Linie entsprechend den geotechnischen und hydrologischen Erfordernissen festgelegt.

Die Anwendung der Sicherheitslinie hat zu unterscheiden:

a)	die Interessen der Öffentlichkeit	- außerhalb des Sperrbereiches der Gefahrenabwehrmaßnahme,
b)	die Anforderungen für Sicherungs- bzw. Sanierungsarbeiten	- innerhalb des Sperrbereiches der Gefahrenabwehrmaßnahmen.

Anwendung und Bedeutung bzgl. der Öffentlichkeit

Der Aufenthalt von Personen und das Abstellen und Betreiben von Geräten innerhalb der Sicherheitslinie sind nur unter Einhaltung von Verhaltensanforderungen gestattet. Auf die bestehenden Gefährdungen und Verhaltensanforderungen wird durch geeignete Maßnahmen hingewiesen (Unterrichtung der Flächeneigentümer, Erteilung von Auflagen, Beschilderungen usw.). Gegebenenfalls werden zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung des Sicherheitsniveaus ergriffen.

Anwendung und Bedeutung bzgl. der Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen

Je nach Gefährdung und Einwirkungen aus den Sicherungsarbeiten werden Teilbereiche der von der Sicherheitslinie umschlossenen Flächen in einen Sperrbereich überführt.

Die Sperrbereichslinie darf in Richtung Gefährdungsbereich nur durch unmittelbar an den Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen beteiligte Personen, Geräte und nur für die Dauer der auszuführenden Arbeiten überschritten werden. Dabei ist das Betreten bzw. Befahren des Gefährdungsbereiches nur unter Einhaltung von Verhaltensanforderungen zulässig. Das Personal und berechtigte Personen sind zu Beginn der Sicherungsmaßnahmen (und gegebenenfalls wiederholt) entsprechend aktenkundig zu belehren.

Im Falle von Rutschungen, Havarien, Störungen und Ereignissen, die Personal und Technik gefährden können, sind Personal und gegebenenfalls Technik schnellstmöglich hinter die Sicherheitslinie zurückzuziehen. Gleiches gilt für größere Arbeitspausen sowie für Reparatur und Wartungsarbeiten.

3.7 Geplante Sicherungs- und Gefahrenabwehrmaßnahmen (Übersicht)

Die derzeit geplanten Sicherungsmaßnahmen zur Gefahrenabwehr stellen die planerische Grundlage für die auszuführende Alternativenprüfung dar. Im Folgenden werden Planungsstände und die geplanten Maßnahmen bereichsbezogen aufgezeigt.

Die Maßnahmen zur Ufer- und Hinterlandsicherung befinden sich in unterschiedlichen Planungsphasen und -tiefen. In der Tabelle 1 sind die aktuellen Planungsstände angegeben.

Anhand der Tabelle 1 ist ersichtlich, dass für Teile (T, S Nord, G Süd) der östlichen Kippenbereiche die Ausführungsplanung vorliegt. Für die genannten Bereiche stellt dies als Teilleistung der Umsetzung der geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen die Erstellung des Versteckten Dammes dar. Diese ersten Sicherungsarbeiten werden unter dem Titel Sicherungsphase 1 zusammengefasst. Parallel befinden sich alle weiteren Leistungen der Uferabschnitte G, S und T im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung.

Die nördlichen und südöstlichen Uferbereiche befinden sich im Stadium der Entwurf- und Genehmigungsplanung. Alle weiteren Bereiche liegen mit dem Stand der Vorplanung vor. Eine Ausnahme bildet der Bereich A und B Nord. Hierfür wurde bereits neben der Entwurfs- und Genehmigungsplanung eine Ausführungsplanung erstellt. Diese wird jedoch in Zukunft bezüglich der aktuellen Planungen aktualisiert werden.

In der folgenden Tabelle sind die geplanten Sicherungsmaßnahmen für die einzelnen Böschungsabschnitte zusammengestellt.

Tabelle 2: Geplante Sicherungsmaßnahmen der Gefahrenabwehr

Uferabschnitt / Bereich	**Geplante Sicherungsmaßnahmen der Gefahrenabwehr**		
	Sicherungsobjekt	Sicherungsmaßnahme	Technologie
A und B Nord	a) Uferböschung	Sicherung gegen Setzungsfließen durch Versteckten Damm	Seeseitige RDV, landseitig Sicherung mittels LRV
B Süd	a) Uferböschung	Beseitigung der Setzungsfließgefahr durch Abtrag der geringmächtigen Kippenmassen oder Verdichtung gekippter Teilbereiche	Abbaggerung mittels mobiler Erdbautechnik oder Einsatz Rütteldruckverdichtung (RDV)
C	a) Böschungen und b) Flachwasserbereiche	derzeit nicht definiert	
D Ost	a) Uferböschung	Sicherung gegen Setzungsfließen durch Versteckten Damm	Seeseitige RDV, Profilierung mittels Amphibientechnik
	b) Flachwasserzone	Gewährleistung Trittsicherheit	Umsetzung mittels seeseitiger oberflächennaher Rüttelverdichtung (LRV)
	c) Hinterland	Sicherung gegen Geländeeinbruch infolge Verflüssigung durch Gewährleistung ausreichender erdfeuchter Überdeckung (Mindestgeländehöhe $H_{min} \geq$ +128,0 m NHN)	Massenauftrag mittels mobiler Erdbautechnik
	d) Koblenzer Graben	Sicherung gegen Verflüssigung, Gewährleistung Wartungstätigkeit (Trittsicherheit und Befahrbarkeit)	Landseitige Rüttelstopfverdichtung (RSV), Profilierung mittels Erdbautechnik
D Mitte	a) Uferböschung	Sicherung gegen Setzungsfließen durch Versteckten Damm	Seeseitige RDV, Profilierung mittels Amphibientechnik
	b) Flachwasserzone	Gewährleistung Trittsicherheit	Umsetzung mittels seeseitiger LRV
	c) Hinterland	Sicherung gegen Geländeeinbruch infolge Verflüssigung durch Gewährleistung ausreichender erdfeuchter Überdeckung (Mindestgeländehöhe $H_{min} \geq$ +128,0 m NHN)	Massenauftrag mittels mobiler Erdbautechnik
D West	a) Uferböschung	Sicherung gegen Setzungsfließen durch Versteckten Damm	Seeseitige RDV, Profilierung mittels Amphibientechnik
	b) Flachwasserzone	Gewährleistung Trittsicherheit	Umsetzung mittels seeseitiger LRV
	c) Hinterland	Sicherung gegen Geländeeinbruch infolge Verflüssigung durch Gewährleistung ausreichender erdfeuchter Überdeckung (Mindestgeländehöhe $H_{min} \geq$ +128,0 m NHN)	Massenauftrag mittels mobiler Erdbautechnik

Uferabschnitt / Bereich	**Geplante Sicherungsmaßnahmen der Gefahrenabwehr**		
	Sicherungsobjekt	Sicherungsmaßnahme	Technologie
E	a) Flachwasserzone	Sicherung in 2009 erfolgreich ausgeführt	
F	a) Gebäude	Sicherung oder Abriss auf Grundlage der Verhältnismäßigkeit	nicht abgestimmt
	b) Zufahrten, Wege	Geländeaufhöhung auf mind. h $\geq$ 2,0 m bis 2,5 m zum prognostizierten Grundwasserspiegel	Erdbautechnik
	c) Geländetieflagen mit Grundwasserflurabständen < 2,5 m	Geländeaufhöhung auf mind. h > 2,0 m bis 2,5 m zum prognostizierten Grundwasserspiegel	Erdbautechnik
G	a) Uferböschung	Sicherung gegen Setzungsfließen durch Versteckten Damm	Seeseitige RDV, Profilierung mittels Amphibientechnik
	b) Flachwasserzone	Gewährleistung Trittsicherheit	Umsetzung mittels seeseitiger LRV
	c) Hinterland	1) Sicherung gegen Geländeeinbruch infolge Verflüssigung durch Gewährleistung ausreichender erdfeuchter Überdeckung (Mindestgeländehöhe $H_{min} \geq$ +128,0 m NHN) 2) Gewährleistung Böschungsstandsicherheit	Massenauf- und -abtrag mittels mobiler Erdbautechnik
S	a) Uferböschung	Sicherung gegen Setzungsfließen durch Versteckten Damm	Seeseitige RDV, Profilierung mittels Amphibientechnik
	b) Flachwasserzone	Gewährleistung Trittsicherheit	Umsetzung mittels seeseitiger LRV
	c) Hinterland	1) Sicherung gegen Geländeeinbruch infolge Verflüssigung durch Gewährleistung ausreichender erdfeuchter Überdeckung (Mindestgeländehöhe $H_{min} \geq$ +128,0 m NHN) 2) Gewährleistung Böschungsstandsicherheit	Massenauf- und -abtrag mittels mobiler Erdbautechnik
T	a) Uferböschung	Sicherung gegen Setzungsfließen durch Versteckten Damm	Seeseitige RDV, Profilierung mittels Amphibientechnik
	b) Flachwasserzone	Gewährleistung Trittsicherheit	Umsetzung mittels seeseitiger LRV
	c) Hinterland	1) Sicherung gegen Geländeeinbruch infolge Verflüssigung durch Gewährleistung ausreichender erdfeuchter Überdeckung (Mindestgeländehöhe $H_{min} \geq$ +128,0 m NHN) 2) Gewährleistung Böschungsstandsicherheit	Massenauftrag mittels mobiler Erdbautechnik

Uferabschnitt / Bereich	Geplante Sicherungsmaßnahmen der Gefahrenabwehr		
	Sicherungsobjekt	Sicherungsmaßnahme	Technologie
U	a) Uferböschung	Sicherung gegen Setzungsfließen durch Versteckten Damm	Seeseitige RDV, Profilierung mittels Amphibientechnik
	b) Flachwasserzone	Gewährleistung Trittsicherheit	Umsetzung mittels seeseitiger LRV
	c) Hinterland	1) Sicherung gegen Geländeeinbruch infolge Verflüssigung durch Gewährleistung ausreichender erdfeuchter Überdeckung (Mindestgeländehöhe $H_{min} \geq$ +128,0 m NHN) 2) Gewährleistung Böschungsstandsicherheit	Massenauf- und -abtrag mittels mobiler Erdbautechnik

3.8 Lage- und Höhenbezugssysteme

Das Lagebezugssystem ist RD 83.

Das verwendete Höhenbezugssystem ist das Deutsche Haupthöhennetz 1992 (DHHN 1992). Die Höhenangabe erfolgt in m NHN.

Grundlage der aktuellen Planungen stellt das aktuelle Risswerk der LMBV mbH (Stand 01/12) [21] dar. Angaben und Darstellungen zur Hydrogeologischen Situation sowie Grundwasserflurabständen erfolgt auf Grundlage der Hydrogeologischen Berechnung vom 21.12.2010 [25].

4 Definition der Ziele der Gefahrenabwehrmaßnahmen

In den vorliegenden Planungsteilen wurden die Ziele der Gefahrenabwehrmaßnahmen durch den Projektträger in Verbindung mit der zuständigen Polizeibehörde für die Umsetzung vorgegeben. Im Rahmen der hier durchzuführenden Prüfung der Geeignetheit der Gefahrenabwehrmaßnahmen sind diese zu prüfen und falls erforderlich zu aktualisieren.

Der Knappensee entstand im Jahre 1945 durch die unkontrollierte Flutung des westlichen Feldesteiles des ehemaligen Braunkohlentagebaues Werminghoff I im Zuge von Hochwasserereignissen. Der Braunkohlenaltbergbau steht nicht unter Bergaufsicht. Das SächsOBA ist die gem. § 3 der Polizeiverordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr über die Abwehr von Gefahren aus unterirdischen Hohlräumen sowie Halden und Restlöchern (Sächsische Hohlraumverordnung - Sächs-HohlrVO) vom 20. Februar 2012 (SächsGVBl. S. 191) für die Abwehr dieser Gefahren zuständige Behörde.

Aufgrund der vorhandenen Gefährdungssituation am Knappensee können bei entsprechenden Initialeinträgen Setzungsfließ- und Geländeeinbruchereignisse infolge Verflüssigung stattfinden, in deren Folge, die öffentlich geschützte Rechtsgüter, insbesondere das Leben und die Gesundheit von Menschen, akut gefährdet sind.

Die Maßnahmen der Gefahrenabwehr unterliegen unter Anderem folgenden gesetzlichen Regelungen nach SächsPolG § 3 (Polizeiliche Maßnahmen):

- (1) Die Polizei kann innerhalb der durch das Recht gesetzten Schranken die erforderlichen Maßnahmen treffen, um eine im einzelnen Fall bestehende Gefahr für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung abzuwehren, soweit die Befugnisse der Polizei nicht gesondert geregelt sind.

- (2) Von mehreren möglichen und geeigneten Maßnahmen hat die Polizei diejenige zu treffen, die ihr nach pflichtmäßigem Ermessen erforderlich erscheint und den einzelnen und die Allgemeinheit voraussichtlich am wenigsten beeinträchtigt.

- (3) Durch die polizeiliche Maßnahme darf kein Nachteil herbeigeführt werden, der erkennbar außer Verhältnis zu dem beabsichtigten Erfolg steht.

- (4) Eine Maßnahme ist nur solange zulässig, bis ihr Zweck erreicht ist oder sich zeigt, dass er nicht erreicht werden kann.“

Folgende Sachverhalte haben die Gefahrenabwehrmaßnahmen zu berücksichtigen:

- Sie müssen dem Grundsatz des geringsten Eingriffs dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz nach Art. 20 Abs. 3 GG entsprechen. Es ist somit das mildeste Mittel zur Zweckerreichung zu treffen.

- Die Zweckerreichung ist dabei als ein Teil der Verhältnismäßigkeit zu sehen, so dass die Maßnahme dann unverhältnismäßig wird, wenn der Zweck nicht erreicht werden kann.

Für die Auswahl des mildesten Mittels sollten mehrere mögliche Anwendungsverfahren zur Verfügung stehen, die zweckmäßig sind. Die Ableitung und Prüfung der Verfahren für die Gefahrenabwehr am Knappensee erfolgt in den Kapiteln 5, 6 und 7, in dessen Ergebnis in einer Verhältnismäßigkeitsbewertung das mildeste Mittel abgeleitet wird.

Die Zieldefinition der Gefahrenabwehr gründet auf der mit der Untersuchung der Erforderlichkeit [6] definierten Gefahrensituation für die öffentliche Sicherheit. Dieser Sachverhalt ist mit der aktuellen sowie auch weiteren Nutzung der gefährdeten Bereiche verknüpft.

Der räumliche Umfang der erforderlichen Gefahrenabwehr ist aufgrund der bestehenden Gefahren, die aus den Kippenflächen des westlichen Teiles des ehemaligen Tagebau Werminghoff resultieren, durch die Grenze Gewachsenes / Kippe beschränkt. Die Kippenbereiche des ehemaligen Tagebaus Werminghoff I bilden im Ostteil das Restloch D/F. Zwischen Westteil (Knappensee, Uferbereiche und Hinterland) und dem Ostteil (Restloch D/F, Uferbereiche und Hinterland) gibt es keine scharfe Abgrenzung. Für die Variantenbetrachtung gilt als Grenze der Bearbeitung die Sicherheitslinie um den Knappensee.

Wie bereits in Kapitel 1.1 zur Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee aufgeführt, besteht im Bereich der vorhandenen wassergesättigten Kippenmaterialien bei einem ausreichenden äußeren oder inneren Initialeintrag eine Neigung zur Bodenverflüssigung. In den ungesicherten Uferbereichen besteht folglich die Gefahr von verflüssigungsbedingten Verformungen und Brucherscheinungen mit anschließenden Setzungsfließrutschungen. Derartige Ereignisse sind nicht lokal begrenzt. Hinsichtlich der Rückgriffweiten können auch Bereiche betroffen sein, die mehrere hundert Meter im räumlichen Umfeld des Initials liegen. Aufgrund des schnellen Ablaufs solcher Vorgänge sind Rettungs- und Abwehrmaßnahmen kaum möglich.

Im Falle eines Versagens der Böschungen oder des Untergrundes sind Personen und Sachwerte gefährdet, die sich

- im Bereich einer Böschung bzw. im Uferbereich und dessen Hinterland,
- auf nicht tragfähigem, zum Verflüssigen neigendem Untergrund,
- in durch Schwallwellen betroffenen Bereichen, z. B. am gegenüberliegenden Ufer und auf der Wasserfläche

befinden.

Die Maßnahmen der Gefahrenabwehr haben die Beseitigung der Setzungsfließgefährdung sowie Minderung der Gefährdung für Geländeeinbrüche infolge Verflüssigung unter Beachtung des aktuellen fachtechnischen Kenntnisstandes zur Zielstellung. Diese allgemeinen Ziele müssen unter Beachtung der vorhandenen und angenommenen weiteren Nutzung in spezifische Zielstellungen, die technologische Maßnahmen ermöglichen, überführt werden.

Vorhandene Nutzungsformen des Sees sowie der Ufer- und Hinterlandbereiche des Knappensees sind:

- bebaute Grundstücke (Freizeitgrundstücke, Wohnbebauung, Gastronomie- und Hotelgebäude),
- Nutzung als Freizeit- und Erholungsgebiet (mit Rad- und Wanderwegen),
- Campingplätze,
- Zufahrts- und Bewirtschaftungswege,
- Nutzung des Sees als Bade-, Angelgewässer und für privaten Bootsverkehr,
- Nutzung des Sees / Restloches als Speicherbecken Knappenrode,
- Gewährleistung des Hochwasserschutzes für die im Unterlauf befindlichen Gebiete und Ortschaften,
- Sicherstellung der Wasserversorgung / Niedrigwasseraufhöhung für nördlich des Knappensees liegenden Umweltschutzgebiete / Biotope,

- Medieninfrastruktur,

- forstwirtschaftliche Nutzung.

Weiterführend stellt der Knappensee eine Biotoplandschaft mit einer umfangreichen Flora und Fauna dar. So wurden im Rahmen der Biotoptypenkartierung [12] allein potentielle 85 vorkommende Spezies verschiedener Arten benannt. Der Flora können eine Vielzahl von Gehölzen, Röhrichtbeständen, Baumarten sowie Sträucher zugeordnet werden. Auch diese Schutzgüter sind in den Betroffenheiten der bestehenden Gefährdungen am Knappensee inbegriffen.

Auf Grundlage der bestehenden Gefährdung sowie vorhandenen Nutzung konnten in der Vorplanung [36] Sicherungsziele in Abstimmung mit dem SächsOBA mit hoher Priorität definiert werden, die für die aktualisierte Zieldefinition entsprechend auf Aktualität zu prüfen und verifizieren sind.

Im Ergebnis der Aktualitätsprüfung können folgende spezifischen Ziele der Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee abgeleitet werden:

- die Beseitigung der Setzungsfließgefahr im Uferbereich und Schutz des Kippenhinterlandes gegen Ausfließen,

- die Schaffung standsicherer Uferbereiche einschließlich der Flachwasserzonen,

- die gefährdungsfreie Nutzung der Kippenflächen als Naherholungsgebiet,

- die gefährdungsfreie Nutzung des Restloches als Wasserspeicher und wasserwirtschaftliche Anlage,

- die gefährdungsfreie forstwirtschaftliche Nutzung der Waldflächen im Kippenhinterland,

- die Sicherung der profilierten Böschungen gegen Erosionserscheinungen,

- die Herstellung der Trittsicherheit in den Flachwasserbereichen bis 2,0 m Tiefe unter Niedrigwasserstand (Z_A= +124,20 m NHN) und

- möglichst geringe Auswirkungen für Flora und Fauna sowie Schaffung vielgestaltiger Biotope und Lebensräume bei der Rekultivierung (z.B. Röhrichtsäume etc.).

Für die Erarbeitung der Prüfung der Geeignetheit der geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen wurden die hier genannten Sicherungsziele in Abstimmung mit dem Projektträger durch das SächsOBA für die weitere Bearbeitung als verbindlich erklärt [3].

Eine gefährdungsfreie Nutzung im Sinne der Sicherungsziele des SächsOBA wird möglich, wenn die Uferböschungen gegen Setzungsfließrutschungen gesichert sind und eine ausreichende Sicherheit gegenüber verflüssigungsbedingten Grundbrüchen im Hinterland der Versteckten Dämme hergestellt wird. Als Mindestmaß für die zu gewährleistende erdfeuchte Überdeckung wird ein Wert von $h_{erdf.,erf.} \geq 2{,}0$ m als erforderlich angesehen.

Durch Ausführung der Sicherungsmaßnahmen ergeben sich folgende Synergieeffekte:

- die gefährdungsfreie Nutzung des Sees,
- die Grundlage für eine weiterführende Entwicklung des Sees für touristische Zwecke,
- die gefährdungsfreie Entwicklung der vorhandenen Flora und Fauna,
- die Grundlage für kommunale Entwicklung sowie
- eine Verbesserung der freizeittechnischen Nutzungsmöglichkeiten.

Diese Synergieeffekte stellen dabei keine Zieldefinition der Gefahrenabwehr dar, sondern bescheinigen bei Erfolg der Gefahrenabwehrmaßnahmen deren Nachhaltigkeit. Weiterhin unterstreichen diese Sachverhalte, dass durch die Maßnahmen keine „Verschlechterung“ der Situation am Knappensee eintritt.

Im Zusammenhang ist zu beachten, dass aufgrund der seit 2009 vermehrt in anderen Sanierungsgebieten der Lausitz aufgetretenen Geländeeinbrüche infolge Verflüssigung zur Zeit im Auftrag von LMBV mbH und VE-M zusätzliche wissenschaftliche Untersuchungen zur Problematik von Verflüssigungsvorgängen auf Innenkippenflächen durchgeführt werden. Mit dem Vorliegen der Ergebnisse dieser wissenschaftlichen Untersuchungen (Geotechnischer Beirat der LMBV mbH, TU Bergakademie Freiberg) ist mittelfristig zu rechnen. Nach Abschluss dieser Arbeiten ist ein geotechnischer Erkenntniszuwachs zu erwarten, der zu Änderungen bzw. Anpassungen des derzeitigen Standes der Technik führen kann.

Die Umsetzung der Maßnahmen bedingt auf Grundlage der Gefahrenabwehr keine zeitliche Begrenzung, so lange diese zweckmäßig sind und dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz entsprechen.

Aufgrund der intensiven Nutzung des Sees und der angrenzenden Flächen mit Wohn- oder Wochenendnutzung sind durch die Sicherungsarbeiten und den damit verbundenen Sperrungen von Flächen eine Vielzahl Dritter unmittelbar betroffen. Im Ergebnis dieser Tatsache ergibt sich die Notwendigkeit einer möglichst geringen Zeitdauer der Sicherungsarbeiten, damit der Zeitraum der Betroffenheit von Anliegern und Öffentlichkeit so gering wie möglich gehalten wird.

5 Varianten zu Maßnahmen der Gefahrenabwehr

5.1 Risikobewertung

Das Erfordernis notwendiger Maßnahmen und der Inhalt und Umfang von erforderlichen Gefahrenabwehrmaßnahmen leitet sich aus der am Knappensee vorherrschenden Risikosituation ab.

Das **Risiko R** wird allgemein durch eine Wahrscheinlichkeitsaussage beschrieben, die sich aus dem Produkt der zu erwartenden Häufigkeit des Eintritts eines unerwünschten Ereignisses und der beim Ereigniseintritt zu erwartenden (materiellen) Konsequenzen zusammensetzt:

$R_i = E_i \times S_i$ R_i Risiko

E_i Eintrittswahrscheinlichkeit ($0 < E_i \leq 100$ %)

S_i Auswirkungen des Ereignisses (in monetären Einheiten)

Das größte noch vertretbare Risiko ist als **Grenzrisiko R_G** definiert, das mit einem bestimmten Zustand oder Vorgang verbunden ist. Eine Situation kann als ausreichend sicher eingeschätzt werden, wenn das Risiko R gleich dem Grenzrisiko R_G ist oder es darunter ($R \leq R_G$) liegt (siehe Abbildung 1).

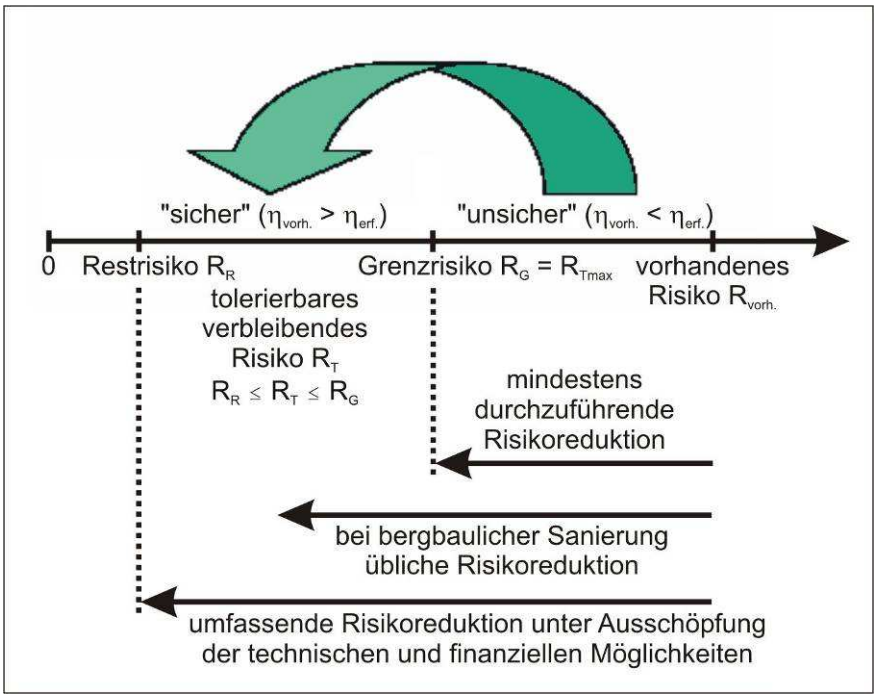
"sicher" ($\eta_{vorh.} > \eta_{erf.}$)
"unsicher" ($\eta_{vorh.} < \eta_{erf.}$)
0
Restrisiko R_R
Grenzrisiko $R_G = R_{Tmax}$
vorhandenes Risiko $R_{vorh.}$
tolerierbares verbleibendes Risiko R_T
$R_R \leq R_T \leq R_G$
mindestens durchzuführende Risikoreduktion
bei bergbaulicher Sanierung übliche Risikoreduktion
umfassende Risikoreduktion unter Ausschöpfung der technischen und finanziellen Möglichkeiten

Abbildung 1 Zusammenhang zwischen Restrisiko R_R und Grenzrisiko R_G (aus [41])

Als **Restrisiko R_R** wird das trotz Schutzmaßnahmen unvermeidlich verbleibende Risiko, das mit einem Zustand oder Vorgang verbundenen ist, bezeichnet. Ein risikofreier Zustand kann prinzipiell nicht erreicht werden (siehe Abbildung 1). Das Erreichen eines nahezu auf Restrisikoniveau abgesenkten Risikos verlangt eine umfassende Risikoverringerung unter Nutzung aller technischen und finanziellen Möglichkeiten. Ein derartiges Vorgehen ist in der Praxis generell unüblich und auch nur in Spezialbereichen von Technik und Wissenschaft (z. B. Raum- und Luftfahrt) geboten, da damit unverhältnismäßig hohe finanzielle Aufwendungen verbunden sind.

Das verbleibende **tolerierbare Risiko R_T** bezeichnet das Risiko, das mit einer Situation verbunden ist, die nach ordnungsgemäßer Ausführung von fachgerecht geplanten, ausreichenden Schutzmaßnahmen zur Risikoreduktion verbleibt. Es liegt zwischen dem (unvermeidlich verbleibenden) Restrisiko R_R und dem Grenzrisiko R_G:

$$R_R \leq R_T \leq R_G \text{ (Abbildung 1).}$$

Das verbleibende tolerierbare Risiko stellt für den am Knappensee zu betrachtenden Zusammenhang den zentralen Risikobegriff dar, da es das unter Berücksichtigung der relevanten Einflussfaktoren **vertretbare Risiko** repräsentiert.

Das allgemeine Lebensrisiko ist ein unbestimmter (undefinierter) Rechtsbegriff, der im Rechtswesen eine weite Verbreitung hat, jedoch im Einzelfall konkret inhaltlich auszulegen ist. Das allgemeine Lebensrisiko bezeichnet die prinzipielle Unbestimmtheit, dass trotz ordnungsgemäßer Anwendung technischer Möglichkeiten und Beachtung der bisherigen Erfahrung im Verlauf jeglicher Vorgänge und Erscheinungen Beeinträchtigungen des Lebens und der Gesundheit von Personen zustande kommen können.

Der mit dem Braunkohlenabbau vorgenommene Eingriff in Natur und Landschaft setzt nach heutigem Verständnis voraus, dass nach der Ausbeutung der Lagerstätten die Flächen wieder nutzbar gemacht werden. Im Hinblick auf den Sanierungsbergbau gebieten der gezielte Einsatz beträchtlicher finanzieller Mittel durch die öffentliche Hand und die damit ermöglichten umfangreichen technischen Sanierungsmaßnahmen, die Folgelandschaft des Braunkohlebergbaus derart zu sichern und zu ertüchtigen, dass das Niveau des allgemeinen Lebensrisikos auf den vom Menschen mit technischen Mitteln geformten, sanierten und aus der Bergaufsicht entlassenen Flächen geringer ist als anderenorts. Die sanierte gewachsene Steilböschung des Restlochs eines Braunkohletagebaus sollte demnach einem geringeren allgemeinen Lebensrisiko entsprechen als die ungesicherte Böschung eines Kreidefelsens einer Ostseeinsel oder eines Schutthanges in den Hochalpen.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen der reinen Gefahrenabwehr im Bereich Bergbau ohne Rechtsnachfolger, teilweise erhöhte Risiken durch Behörden toleriert werden, da die vollständige Sanierung mit unverhältnismäßig hohem Mittelaufwand verbunden wäre (z. B. nicht risskundlicher Tiefbau, Bruchfelder über Tiefbau, Alttagebaue).

Auch am Knappensee ist die Zielstellung der Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen die Minderung des vorhandenen Risikos unter ein definiertes bzw. festgelegtes Grenzrisiko auf ein tolerierbares Restrisiko $R_{R,tol.}$. Dabei gelten die Zustände unterhalb des definierten Grenzrisikos als sicher (siehe Abbildung 1).

Die Gefährdungssituation am Knappensee wird durch das Risikopotential eines möglichen Eintretens von Verflüssigungsprozessen, mit Auslösen einer Setzungsfließrutschung oder verflüssigungsbedingten Geländeeinbrüchen mit den entsprechenden Verformungen an der Geländeoberfläche, im Konflikt mit der öffentlichen Nutzung bestimmt.

Für den Knappensee erfolgte im Hintergrund der aktuellen geotechnischen Situation und der öffentlichen Zugänglichkeit die Bewertung der Erforderlichkeit von Sicherungsmaßnahmen. In der Unterlage „Nachweis der Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen“ [6] sind ausführlich Bewertung und Erfassung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Verflüssigungsereignissen sowie des möglichen Schadensausmaßes am Knappensee dargelegt. Im Ergebnis der darin betrachteten Gefahrensituation kann das Eintreten eines Setzungsfließereignisses bei Vorhandensein eines ausreichenden Initials als „höchst wahrscheinlich“ eingestuft werden. Da das Eintreten eines derartigen Initials nicht quantifizierbar ist, muss auf die Zukunft bezogen die Eintrittswahrscheinlichkeit unter den in [6] genannten Aspekten als „wahrscheinlich“ definiert werden.

Das bei Eintritt eines Setzungsfließereignisses infolge Verflüssigung zu erwartende Schadensausmaß ist durch die Gefährdung für Leib und Leben sowie die Beeinträchtigung der öffentlichen Sicherheit als sehr hoch einzuschätzen. Damit wurde für den Knappensee festgestellt, dass für die Vermeidung von Gefahren durch instabile Böschungssysteme Sicherungs- und/oder Sanierungsmaßnahmen zweifelsfrei erforderlich sind.

Die Gefährdungssituation am Knappensee wird durch das Risikopotential eines möglichen Eintretens von Verflüssigungsprozessen, mit Auslösen einer Setzungsfließrutschung oder verflüssigungsbedingten Geländebrüchen mit entsprechenden Verformungen an der Geländeoberfläche bestimmt. Mit diesen Verformungen ist eine Gefahr für Leib und Leben sowie die Beschädigung oder Zerstörung von Sachgütern verbunden. Die vorhandene Gefährdung ist nicht offensichtlich. Für die Gefahrenabwehrbehörde besteht Handlungszwang.

Lediglich durch intensives Monitoring und Absenkung des Wasserspiegels werden derzeit Bedingungen geschaffen, die eine Restnutzung bis zum Beginn von Sicherungsarbeiten erlauben. Sollten neue Erkenntnisse vorliegen oder Randbedingungen sich ändern, kann es notwendig werden, bereits kurzfristig Sperrbereiche festzulegen und durchzusetzen.

Tabelle 3: Bewertung des Umfanges der Gefahrenabwehrmaßnahmen

	„Nullvarianten“	**Erstsicherung**	**Sicherungsmaßnahmen**	**Sanierungsmaßnahmen**
Maßnahme	Erhaltung des Status quo, keine weiteren Maßnahmen jeglicher Art	Absicherung gegen akute Gefahren oder Minderung der Gefahrensituation mit in kurzfristiger Zeit zur Verfügung stehenden Mitteln	Gefahrenabwehr ohne Beseitigung der Gefahrquelle Begrenzung von schädlichen Auswirkungen, periodische Kontrollen erforderlich	Überwiegende Beseitigung der Gefahrenquelle, keine periodischen Nachkontrollen,
Beispiele	Erhaltung der bestehenden Situation	Sofortmaßnahmen, Wasserspiegelbegrenzung, Verhaltensanforderungen Sperrung	Sicherung mittels Versteckten Damm, Lokale Verdichtungsmaßnahmen, Einbau von Vertikaldräns	Umfassende Sanierung der Uferbereiche mittels Versteckter Dämme und flächenhafter Verdichtungsmaßnahmen, Böschungsanpassung,
Zieldefinition	Beseitigung der Setzungsfließgefahr, Erreichung einer ausreichenden Sicherheit gegenüber verflüssigungsbedingten Grundbrüchen, Gefährdungsfreie Nutzung des RL als Wasserspeicher bzw. wasserwirtschaftliche Anlage, Ausreichende Trittsicherheit in Flachwasserbereichen			
Zielerreichung der Gefahrenabwehr am Knappensee	**nein**	**nein**	**ja (möglich)**	**ja (umfassend)**
Bewertung	Ausschluss aus Variantenbetrachtung	Nur bedingte, temporäre Minderung der Gefährdung	Sicherung vor Gefährdung und teilweise deren Beseitigung	Beseitigung der Gefährdung
Eignung als Gefahrenabwehrmaßnahme	Prinzipiell ungeeignet	Auf Dauer ungeeignet	**Weitere Prüfung der Eignung im Rahmen einer Variantenuntersuchung und Prüfung der Verhältnismäßigkeit**	

Anhand der Tabelle 3 wird ersichtlich, dass die erforderlichen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr am Knappensee den Charakter von technologischen Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen erfordern.

Die erforderlichen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr haben die Beseitigung der Setzungsfließgefahr und die Minderung der Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung und damit eine deutliche Verringerung der Gefährdung der öffentlichen Sicherheit zum Ziel. Dies ist nur durch gezielte Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen erreichbar. Sogenannte Nullvarianten, die den Status quo erhalten, sind aufgrund ihrer fehlenden Geeignetheit für die Zielerreichung von vornherein auszuschließen. Sie werden im folgenden Kapitel der Variantendiskussion nur der Vollständigkeit wegen aufgeführt und andiskutiert.

5.2 Sicherungs- und Sanierungsvarianten

Im Allgemeinen werden die möglichen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr in Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen unterschieden. Der Umfang und die Art von Maßnahmen werden in der Regel an der aktuellen oder geplanten Nutzung der Tagesoberfläche ausgerichtet.

Sicherungsmaßnahmen stellen die Gesamtheit aller Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren für die öffentliche Sicherheit unter Beachtung der momentanen Nutzung der zu sichernden Bereiche dar, ohne dabei jedoch die Gefahrenstelle tatsächlich zu beseitigen. Hierbei werden die Erstsicherung (vorläufige Sicherung z. B. durch Absperrband, Bauzaun, Beschilderung) zur umgehenden Gefahrenabwehr an der Gefahrenstelle und die dauerhafte Sicherung zur längerfristigen Gefahrenabwehr unterschieden. Maßnahmen der dauerhaften Sicherung können z. B. massive Zäune, Erdwälle, Hecken sein. Mit diesen Maßnahmen soll eine Ausgrenzung der Öffentlichkeit aus dem gefährdeten Bereich erfolgen. Die Absicherung der Wirksamkeit stellt in einem öffentlich genutzten Raum eine erhebliche Herausforderung an die Durchsetzung dar. Der Erhalt dieser Einrichtungen sowie die Kontrolle der Wirksamkeit sind an periodische Kontrollen gebunden. Deren zeitliche Abfolge orientiert sich an den jeweiligen örtlichen Verhältnissen. Eine Beseitigung der Gefährdung erfolgt mit diesen Maßnahmen (die im Wesentlichen nur eine Absperrung des gefährdeten Bereiches beinhalten) nicht.
Die Gefährdung beseitigende Sicherungsmaßnahmen stellen Versteckte Dämme oder weitere geeignete technische Bauwerke/Maßnahmen dar.

Sanierungsmaßnahmen repräsentieren die Gesamtheit aller Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren für die öffentliche Sicherheit, wobei die gefährdeten Bereiche verändert und die Gefahrenquellen im Wesentlichen beseitigt werden. Sanierungsmaßnahmen bedürfen nach erfolgreichem Abschluss keiner periodischen Nachkontrollen.

Im Zuge der Tagebausanierung wurden in den letzten Jahrzehnten viele technologische Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen angewendet, so dass deren Wirksamkeit und Funktionstüchtigkeit sowohl in der Lausitz als auch international nachgewiesen wurde. Die langfristige Wirksamkeit der Maßnahmen wurde prognostiziert und erfuhr teilweise durch unplanmäßige Schadensereignisse eine insitu-Prüfung. Weiterhin befinden sich neuartige Verfahren in der Felderprobung. Grundsätzlich kann für den Knappensee festgestellt werden, dass im Gegensatz zu den 1980er Jahren heute technische Mittel und Verfahren zur Verfügung stehen, um die mit den Kippenböschungen verbundenen Gefahren geeignet zu beseitigen.

Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchung der Geeignetheit werden zunächst alle Sicherungs- und Sanierungstechnologien /-maßnahmen einer Bewertung hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit unterzogen.

Grundsätzlich lassen sich folgende Varianten zur Herstellung der Öffentlichen Sicherheit und Beseitigung der mit den Kippenböden zusammenhängenden Gefährdung unterscheiden:

1) Sperrung des Sees und der Kippenflächen
(Erstsicherung, dauerhafte Sicherung)

2) Großräumiges Absenken des Kippenwasserspiegels
(dauerhafte Sicherung)

3) Verfüllung des Sees
Sicherung bzw. Sanierung bei zusätzlichen Maßnahmen im Böschungsbereich und der Innenkippen)

4) Technische Bodenverbesserung und Herstellung von Bauwerken

Für die Braunkohlensanierung der öffentlichen Hand wurden die Varianten 1) und 2) bereits Anfang der 1990er Jahre verworfen. Sie sind mit erheblichen Nutzungseinschränkungen, Ewigkeitslasten und letztendlich einer unveränderten Gefahrensituation nach Einstellung der Sicherungsmaßnahmen verbunden.

Da die notwendigen Massen zur Verfüllung der Restlöcher des Braunkohlenbergbaus nicht zur Verfügung standen, wurde vorwiegend eine technische Sicherung/Sanierung gefährdeter Bereiche umgesetzt. Die Situation am Knappensee ist vergleichbar.

Je nach Umfang und Kombination der technischen Maßnahmen kann per Definition eine dauerhafte Sicherung und/oder Sanierung erreicht werden.

5.2.1 Übersicht

Die technologischen Sicherungs- und Sanierungsverfahren zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr verändern die Eigenschaften (hauptsächlich der Lagerungsdichte und der damit zusammenhängenden bodenphysikalischen Parameter) der vorhandenen wassergesättigten rolligen Kippenböden, so dass Verflüssigungsvorgänge bereichsweise oder auch flächenhaft nicht mehr stattfinden können. Im Vordergrund steht dabei vor allem die Beseitigung der Ausfließmöglichkeit von verflüssigten Bodenmaterialien, um vor allem die kettenreaktionsartige und großräumige Ausbreitung derartiger Prozesse zu verhindern.

Die technologische Grundlage für die Gefahrenbeseitigung bietet die Verbesserung der bodenphysikalischen Eigenschaften der vorhandenen Kippenmaterialien.

Eine Übersicht über die Art der möglichen Verbesserungsmaßnahmen gibt das Grundbautaschenbuch [38] und ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Verbesserungsmaßnahmen für Kippenböden (in Anlehnung an [38])

Austauschen	**Verdichten**	**Verdichten**	**Bewehren**		
	statisch	**dynamisch**	**verdrängende Wirkung**	**ohne verdrängende Wirkung**	
				mechanisches Einbringen	*hydraulisches Einbringen*
Bodenvollersatz	**Vorbelastung**	**Vibrationsverdichtung**	**Rüttelstopf-verdichtung (RSV)**	**MIP-Verfahren**	**Düsenstrahl-verfahren**
Trockenbaggern	**Vorbelastung**	Tiefenrüttler (RDV)	**Rüttelstopf-vermörtelung**	**FMI-Verfahren**	**(Hochdruck-injektion)**
Nassbaggern	**mit Konsolidierungshilfe**	Aufsatzrüttler (MRC)	**Sandverdichtungs-pfähle**	**Injektionen**	
Bodenteilersatz	**Verdichtungs-injektion**	**Stoßverdichtung**	**Kalk/Zement-Stabilisierungs-säulen**	**Vereisung**	
Polsterschicht	**Grundwasser-beeinflussung**	Fallplatte	**Verdichtungs-injektion**		
Schottersäulen		Sprengung			
Kalkzementpfähle / Betonpfähle		Luft-Impuls-Verfahren			

Weiterführend existieren für die technologischen Sicherungsmaßnahmen unterschiedliche Erfahrungswerte. Einen Überblick über das Einsatzspektrum der vorhandenen Technologien liefert die Tabelle 5.

Tabelle 5: Verfahren und Einsatzbereiche der Sicherung verflüssigungsgefährdeter Kippen

Einflussgröße	**Änderung der Einflussgröße**	**Verfahren**	**Einsatzbereich**
Wasserstand	Absenkung	Filterbrunnen, Dränagen	Aktiver Bergbau
Porenanteil n	Verringerung	Sprengverdichtung	wassergesättigte Kippen
		Rütteldruckverdichtung (RDV), Leichte Rütteldruckverdichtung (LRV)	Feinkornanteil < 25 % oberflächennah LRV
		Müller Resonance Compaction (MRC)	Verdichtungstiefen < 15 m
		Rüttelstopfverdichtung (RSV)	wenn RDV nicht möglich
		Fallgewicht (FGV)	oberflächennah
		Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektion)	Unterfangungen
		Luft-Impuls-Verfahren	wassergesättigte Kippen
Sättigungszahl Sr	Verringerung	Luftinjektion	Entwicklung abgebrochen
Wasserdurchlässigkeit k	Erhöhung	Dränage (Porenwasserdruckfallen)	in Entwicklung
Geometrie	Abflachen	Abspülen Planieren Erdbau	vor Restlochflutung, oberhalb des Wasserspiegels
Kornverteilung	Erhöhung Feinkornanteil	Feinkorninjektion	in Erprobung
Kornverkittung	Erhöhung	Montanwachsinjektion	in Erprobung
		Wasserglas	in Erprobung
		Schauminjektion	in Erprobung

Anhand der Tabellen 4 und 5 ist zu erkennen, dass für die großmaßstäbliche Sicherung von locker gelagerten Kippenböschungen an einem bestehenden wassergefüllten Restsee im Sanierungsbergbau nur wenige Verfahren, deren Wirksamkeit im praktischem Einsatz erprobt/nachgewiesen wurde, zur Verfügung stehen. Bislang liegen nur von Verfahren, die direkt auf das Korngefüge in Form von Verdichtungsarbeit einwirken, positive Ergebnisse und der Nachweis der Funktionstüchtigkeit und damit auch Geeignetheit vor. Viele weitere, in Tabelle 5 aufgeführte Verfahren befinden sich noch in Entwicklung bzw. Erprobung. Der Nachweis ihrer Funktionstüchtigkeit und Wirksamkeit wurde noch nicht erbracht.

Mit den aufgeführten technologischen Verfahren, lassen sich folgende mögliche Sicherungsverfahren ableiten. Diese sollen im Folgenden weitergehend betrachtet werden:

Grundsatzvarianten zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr unter Beibehaltung der bestehenden Nutzung

1) Großräumiges Absenken des Kippenwasserspiegels,

2) Herstellen eines Stützkörpers (Versteckter Damm) mittels

   a) Rütteldruckverdichtung,

   b) Müller Resonance Compaction

   c) Rüttelstopfverdichtung,

   d) Sprengverdichtung,

   e) Fallgewichtsverdichtung,

   f) Impulsverdichtung (Fa. Terramix)

3) Verdichten der Kippenbereiche mittels Luft-Impuls-Verfahren,

4) Flächenhaftes Verdichten der Kippenbereiche mittels Sprengverdichtung,

5) Sicherung der Kippenbereiche mittels Injektionen (Düsenstrahlverfahren, Wasserglas oder Schaum),

Alternativvarianten zur Sicherung unter Berücksichtigung einer Nutzungsänderung

6) Sperrung des Sees und der Kippenflächen,

7) Sperrung von Teilflächen und teilweise Sicherung,

8) Verfüllung des Sees,

9) Aushub der verflüssigungsgefährdeten Kippenmaterialien,

Grundsatzvarianten zur Vermeidung von Verflüssigungsgrundbrüchen

GV 1 Großräumiges Absenken des Kippenwasserspiegels (identisch mit Variante 1),

GV 2 Einsatz von Dränagen (Vertikaldräns) im Bereich von Fahrwegen,

GV 3 Herstellung einer ausreichend großen erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbau.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die vorgenannten Varianten bezüglich ihrer Technologie und der Randbedingungen sowie ihrer Vor- und Nachteile und Anwendbarkeit für die Sicherungsmaßnahmen am Knappensee beschrieben.

5.2.2 Variante 1: Großräumiges Absenken des Kippenwasserspiegels

Durch eine Absenkung des Kippenwasserspiegels werden die Kippenmaterialien von dem wassergesättigten Zustand in einen teilgesättigten oder erdfeuchten Zustand überführt. Das Auftreten von Porenwasserüberdrücken innerhalb der Kippen wird damit unterbunden. Die Variante umfasst dabei die Absenkung des Wasserspiegels bis auf das Liegende zur vollständigen Beseitigung der Setzungsfließgefahr. Im Ergebnis dieser Maßnahme können Verflüssigungsprozesse, die zu einem Setzungsfließen oder Geländeeinbruch infolge Verflüssigung führen, vollständig ausgeschlossen werden.

Technologisch erfolgt die Grundwasserabsenkung in gleicher Weise wie bei aktiven Tagebauen. Dabei wird das Wasser mittels Brunnengalerien, die um den zu entwässernden Bereich (im Falle des Knappensees umfasst dies den gesamten Kippenkörper) angeordnet sind, gefördert und abgeleitet.

Diese Variante beseitigt die bestehende Setzungsfließgefahr sowie die Gefahr von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung am Knappensee zwar umfassend, ist jedoch mit einem sehr hohen technologischen und wirtschaftlichen Aufwand verbunden. So sind bis auf unbestimmte Zeit große Mengen an Wasser zu heben, ggf. zu behandeln und gezielt abzuleiten. Weiterhin ergibt sich eine Vielzahl an negativen Auswirkungen bei Anwendung dieser Variante.

Bei einer vollständigen Absenkung des Grund- und Kippenwassers im Bereich des Knappensees bis auf das Liegende ist die Funktion des Sees als Speicherbecken nicht mehr gewährleistet. Die Wasserlamelle innerhalb des Sees wird von der Absenkung stark beeinflusst oder vollständig entfernt. In der Folge wäre eine Speicherbewirtschaftung nicht mehr möglich.

Die Nutzung als Bade-und Angelgewässer ist bei einer massiven Grundwasserabsenkung ebenfalls nicht mehr gegeben oder stark eingeschränkt, was die Freizeit- und Erholungsnutzung am gesamten Knappensee negativ beeinflussen wird.

Mit einer Grundwasserabsenkung würde auch das an die Kippe angrenzende Gebirge entwässert werden. Durch die Absenkungsmaßnahme sind in der Folge sowohl im Kippenmassiv als auch im angrenzenden gewachsenen Lockergestein Setzungen zu erwarten, die an der Bebauung Schäden verursachen können. Eine massive Grundwasserabsenkung würde auch auf die vorhandenen Fließgewässer (z. B. Hoyerswerdaer Schwarzwasser) sowie auf den östlich des Knappensees liegenden Graureihersee in Form von Absenkungen des Wasserspiegels Einfluss nehmen.

Durch eine Grundwasserabsenkung werden Flora und Fauna großflächig beeinträchtigt, wobei die Wirkungsbereiche weit über den Knappensee hinausgehen und auch gewachsene Bereiche betroffen sein könnten. Im Seebereich ist durch die Absenkung des Seewasserspiegels der Verlust von bedeutsamen wassergebundenen Biotopstrukturen (Röhrichtsäume) zu erwarten.

Einschränkungen sind auch für die angrenzenden Nutzflächen der Land- und Forstwirtschaft zu erwarten, da sich mit der Absenkung des Grundwasserspiegels das Ertragspotential der Nutzflächen verringert.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist, dass die Maßnahme dauerhaft aufrechterhalten werden muss. Damit fallen kontinuierlich Kosten an.

Eine nachhaltige Verbesserung der Lockergesteinseigenschaften im Kippenmassiv geht mit dieser Maßnahme nicht einher. Steigt das Grundwasser wieder auf das Ausgangsniveau an, so stellt sich die vor der Absenkung vorhandene Gefahrensituation wieder ein.

Bereits anhand dieser verbal aufgeführten Nachteile muss die Variante des Absenkens des Kippenwasserspiegels für eine Abwehr der vorhandenen Gefahren am Knappensee aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, der Verhältnismäßigkeit und der Zielerreichung verworfen werden.

5.2.3 Variante 2: Herstellen eines Stützkörpers (Versteckter Damm)

Um die bestehende Gefährdung von Uferböschungen gegenüber Setzungsfließrutschungen zu reduzieren beziehungsweise vollständig zu beseitigen, werden sogenannte Versteckte Dämme im Bereich der Böschung hergestellt. Diese wirken als Stützkörper und haben die Aufgabe, ein Ausfließen von verflüssigtem Bodenmaterial und damit große Horizontalverformungen in der Böschung zu verhindern.

Seit Beginn der Sanierung der ehemaligen Braunkohlefolgelandschaften wurden Versteckte Dämme als Sicherungselemente hergestellt. Die Wirksamkeit dieser Stützbauwerke wurde in einer Vielzahl von Rutschungsereignissen nachgewiesen, indem die Rutschungen durch die Versteckten Dämme gestoppt bzw. das Schadensausmaß durch diese begrenzt wurden.

Generell erfolgt die Herstellung von Versteckten Dämmen durch das Verdichten des locker gelagerten Kippenmaterials im Bereich des geplanten Dammkörpers.

Durch die vorgenommene Verdichtung der ehemals locker gelagerten Kippenböden des Versteckten Dammes weist dieser keine Neigung zur Verflüssigung auf.

Mit den geotechnischen Anforderungen, die an Stützkörper gestellt werden, wäre ein Aufbau dieser aus folgenden Materialien denkbar:

- aus Lockergestein, das ein nicht zur Verflüssigung neigendes Kornspektrum aufweist,
- aus vorhandenem Kippenmaterial, das in seinen Eigenschaften an Ort und Stelle derart verändert wird, dass es nicht mehr verflüssigt werden kann.

Technologisch ist eine Änderung der Körnungsverteilung, d. h. das Einbringen von Material um die Körnungslinie des Kippenmaterials positiv zu beeinflussen und aus dem verflüssigungsgefährdeten Körnungsspektrum zu verschieben, sehr anspruchsvoll und mit einem erheblichem Aufwand verbunden. Aus ökonomischen und technischen Gründen ist deshalb die Herstellung von Versteckten Dämmen durch das Verdichten des anstehenden Kippenmaterials als Vorzugvariante anzusehen.

Dabei können die in Tabelle 5 aufgeführten Verfahren zur Anwendung kommen. In den meisten Fällen erfolgen eine Verdichtung des Kippenmaterials und damit eine Überführung des Materials in eine höhere Lagerungsdichte.

Übliche Technologien (Stand der Technik) zur Verdichtung von locker gelagerten Kippenmaterialien stellen dabei:

- die Rütteldruckverdichtung (RDV),
- die Rüttelstopfverdichtung (RSV),
- die Sprengverdichtung (SPV),
- die Fallgewichtsverdichtung (FGV),

dar.

Vorteile der Sicherung mittels Verstecktem Damm sind die eindeutige Dimensionierung des Sicherungselementes sowie die jahrelangen positiven Erfahrungen bei Herstellung. Die erforderlichen bodenmechanischen Eigenschaften des Verdichtungskörpers lassen sich leicht untersuchen und ermöglichen somit eine entsprechende Qualitätssicherung.

a) Herstellen eines Versteckten Dammes mittels Rütteldruckverdichtung

Die Rütteldruckverdichtung (RDV) ist in die dynamischen Bodenverdichtungsverfahren einzuordnen. Bei der RDV wird ein Bodenverdichter (Rüttler) eingesetzt, der mittels rotierenden Unwuchtmassen horizontale Schwingungen erzeugt, die zu einer Verdichtung des umgebenden Bodenmaterials führen. Der Schwingantrieb befindet sich in einem Stahlrohr, über das die Vibrationen direkt auf das umgebende Bodenmaterial übertragen werden. Der bis zu 4,5 m lange Rüttler, wird über ein Trägergerät (z. B. Bagger oder Kran) geführt, wobei die Befestigung nicht starr, sondern meist seilgeführt, d.h. freischwingend ausgebildet ist. Sind größere Teufen zu verdichten, so wird der Rüttler mittels aufgesetzten Rohren zu einer Rüttellanze verlängert. Dabei ist die Gesamtlänge der Rüttellanze mit Verrohrung länger auszubilden, als die zu erreichende Verdichtungstiefe.

Zu Beginn der Verdichtungsarbeiten wird die Rüttellanze auf den Boden aufgesetzt und durch Rütteln und gegebenenfalls mit Wasserzugabe bis zur Basis des erforderlichen Verdichtungsbereiches abgeteuft. Die eigentliche Verdichtungsarbeit erfolgt durch den Einsatz des Rüttlers stufenweise von unten nach oben. Dabei sind definierte Verweilzeiten in kontinuierlichen Tiefenabschnitten einzuhalten. Diese Arbeitsparameter werden durch die Durchführung und Auswertung eines Testfeldes vor Beginn der Routinearbeiten bestimmt und festgelegt.

In wassergesättigten locker gelagerten Sanden (Kippenmaterialien) wird durch das Rütteln im unmittelbaren Umfeld der Anregung eine lokale Verflüssigung erzeugt, die nach Abklingen des Porenwasserüberdruckes zu einer Kornumlagerung führt, aus der die gewünschte Verdichtungswirkung resultiert.

Bei großen Verdichtungstiefen (> 25 m) kann unter Umständen eine Unterstützung der Rüttelarbeiten durch Wasserzugabe erforderlich werden. In den Sanierungsbereichen der Kippenflächen der Tagebaue in der Lausitz wurden bereits Verdichtungstiefen bis 60 m Tiefe realisiert.

Durch die Verdichtung entstehen Massendefizite, die an der Oberfläche zu sichtbaren Setzungen in Form von Trichtern führen. Der Ausgleich des Defizits erfolgt meistens durch gezielte Materialzugabe während des Rüttelns. Weniger gebräuchlich ist die Auffüllung der Setzungsmulde an der Oberfläche mittels Erdbautechnik.

Durch eine rasterförmige Anordnung der einzelnen Rüttelpunkte kann ein geometrischer Körper mit vorgegebenen horizontalen und vertikalen Abmessungen wie beispielsweise ein Versteckter Damm hergestellt werden. Erfahrungsgemäß betragen in Abhängigkeit des Kippenmaterials die Abstände der einzelnen Verdichtungspunkte zwischen 1,5 m und 5,6 m.

Das Verdichtungsergebnis ist unter anderem von

- der Kornverteilung,
- der Ungleichförmigkeit,
- der Kornform- und Rauigkeit,
- der Wasserdurchlässigkeit,
- dem Wassergehalt und der Wassersättigung,
- der Ausgangslagerungsdichte und

- dem Feinkornanteil

des Kippenmaterials abhängig.

Auf der technologischen Seite bedingen

- die Einsatzparameter des Rüttlers (Frequenz, Masse, Spülzugabe) und

- die Ausführungsvorgaben (Rastermaß, Rasteranordnung, Ziehhöhe und Intervalldauer des Rüttlers),

die erreichbare Verdichtung und deren Qualität.

Die Anwendungsgrenzen für dieses Verdichtungsverfahren bestehen neben der Einsatztiefe vor allem in der Kornverteilung des zu verdichtenden Mediums. Der Einsatz der RDV wird in der Regel für Materialien mit einem Feinkornanteil $\leq$ 10 % und einem Tonanteil $\leq$ 5 % ausgeführt. Ein vorhandener Feinkornanteil verhindert durch die kohäsiven Eigenschaften das Umlagern der Bodenteilchen und führt zusätzlich zu einer hohen Dämpfung der eingetragenen Schwingungen. Die Feinkornanteile der Kippenmaterialien am Knappensee betragen mitunter bis zu 20 %. Da jedoch das Feinkorn nicht gleichmäßig verteilt, sondern als „Pseudokorn“ vorliegt, ist der Einsatz der RDV trotzdem möglich. In diesem Sinne ist auch der oben als Anwendungsbereich angegebene Feinkornanteil von < 25 % zu werten.

Ein großer Vorteil des Rütteldruckverfahrens ist die durch umfangreiche weltweite Einsätze ausgereifte Gerätetechnik. So besteht die Möglichkeit während der Ausführung verschiedenste Parameter wie Datum, Uhrzeit, Versenkzeit, Teufe, Hubhöhe, maximale Stromaufnahme des Antriebsmotors, Verweilzeit, Rüttelfrequenz, Luftdruck, Wasserzugabe aufzuzeichnen, was wiederum eine detailgetreue Prüfung und Dokumentation der Verdichtung ermöglicht. Ein GPS-gesteuertes Anfahren der Ansatzpunkte kann die punktgenaue Umsetzung der Vorgaben des Verdichtungsrasters garantieren. Damit sind auch nicht absteckbare Ansatzpunkte, wie beispielsweise Verdichtungsbereiche in Seeflächen, gezielt anfahrbar.

Die Erstellung des Versteckten Dammes kann landseitig oder seeseitig erfolgen wobei die Standsicherheit und Bewegungsfreiheit der Gerätetechnik zu jeder Zeit gewährleistet sein muss.

Nachteilig beim Einsatz eines Tiefenrüttlers ist eine oberflächennah (bis 4,0 m) nicht ausreichende Verdichtungsleistung, so dass in diesen Bereichen mit anderer Technik, wie beispielsweise einer Leichten Rüttelverdichtung (LRV) nachgearbeitet werden muss.

Wie bereits beschrieben tritt bei der Durchführung der Rütteldruckverdichtung eine lokale Verflüssigung um den Verdichtungspunkt auf. Dabei besteht die Gefahr, dass die Verflüssigung benachbarte Bereiche erfasst und sich zu einer großräumigen Setzungsfließrutschung entwickelt. Durch die sogenannte Sicherheitsfahrweise kann diese Gefährdung minimiert werden. Bei der Sicherheitsfahrweise wird nach jedem abgeschlossenem Rüttelpunkt eine Ruhepause vorgesehen, in der sich die durch die eingetragenen Schwingungen erhöhten Porenwasserdrücke abbauen können. Zusätzlich besteht die Möglichkeit die Porenwasserdruckentwicklung mittels PWD-Messsystem zu überwachen. Die mit der messtechnischen PWD-Überwachung erhaltenen Ergebnisse zeigen das Verhalten der Porenwasserüberdrücke im unmittelbaren Umfeld des zu verdichtenden Kippenmaterials auf. Auf Grundlage dieser Daten kann regulierend in den Verfahrensablauf der Rütteldruckverdichtung eingegriffen werden, um ein Böschungsversagen zu verhindern.

Dennoch ist festzuhalten, dass mit der Rütteldruckverdichtung ein durch das Verfahren bedingtes starkes Initial in den Untergrund eingetragen wird. Trotz Anwendung der Sicherheitsfahrweise und der messtechnischen Überwachung der Porenwasserdrücke kann ein Böschungsversagen oder eine Rutschung nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Abbildung 2: Rütteldruckverdichtung ([28])

Die bestehenden Erfahrungen, Verdichtungsnachweise mit/von Versteckten Dämme sowie deren Funktionalität in Schadensfällen unterstreichen die Wirksamkeit der mittels RDV bearbeiteten/verdichteten Kippenbereiche. Im Sanierungsbergbau hat sich die Rütteldruckverdichtung zu einem Standardverfahren für die Herstellung von Versteckten Dämmen in Kippenbereichen entwickelt. Die Wirksamkeit des Verfahrens sowie die Stabilität der mit diesem Verfahren hergestellten Körper wurden auch praktisch bei mehreren Rutschungsereignissen bewiesen, bei denen Böschungsbewegungen durch die mittels RDV erstellten Versteckten Dämme in der räumlichen Ausbreitung gestoppt oder eingeschränkt wurden.

Für den Einsatz von Verdichtungsmaßnahmen in den Kippenbereichen des Knappensees ist das Rütteldruckverfahren als geeignet anzusehen. Die Ausführung der Rütteldruckverdichtung kann see- und landseitig erfolgen. Die zu verdichtenden Tiefen von 25 m bis 30 m sind mit der am Markt zur Verfügung stehenden Technik gut realisierbar. Für den Einsatz des Verfahrens in Kippenmaterialien, wie sie auch am Knappensee vorkommen, sind im Sanierungsbergbau bei der LMBV mbH jahrzehntelange Erfahrungen vorhanden. Die am Knappensee vorhandenen Kippenböden lassen entsprechend der verfügbaren Untersuchungsergebnisse eine gute Verdichtbarkeit mittels RDV erwarten. Aus geotechnischer Sicht stellt die RDV das Vorzugsverfahren für die durchzuführenden Sicherungsmaßnahmen zur Herstellung von Stützkörpern und damit der Beseitigung der Setzungsfließgefahr im Rahmen der Gefahrenabwehr dar.

b) Herstellen eines Versteckten Dammes mittels Müller Resonance Compaction (MRC-Verfahren)

Alternativ zur Rütteldruckverdichtung (RDV) wurden in den USA (unter dem Namen *Terra-Probe*), später in Europa z. B. Schweden (unter dem Namen *Vibro-Wing-Methode*) Verfahren mit schwingenden Stahlelementen (Rohre, Bohlen, etc.) entwickelt. Heute ist das Verfahren unter der Bezeichnung *Müller Resonance Compaction* (*MRC-Methode*) bekannt ([38]).

Allen Verfahren ist gemeinsam, dass ein Stahlrohr, Stahlträger oder eine speziell vorgeformte Rüttelbohle in den zu verdichtenden Untergrund eingebracht wird. Mit Hilfe eines schweren Aufsatzrüttlers werden die Verdichtungselemente in vertikale Schwingungen versetzt. Die Verdichtung erfolgt durch die vertikalen Schwingungen der Rüttelelemente, die über ihre Oberfläche Scherspannungen in den seitlich anstehenden Boden eintragen.

Der Rüttler bzw. Erreger bleibt im Unterschied zur RDV dabei selbst an der Oberfläche und befindet sich nicht im Boden (siehe Abbildung 3). Um die Ausbreitung von Scherwellen zu erhöhen werden die Rüttelelemente mit zahlreichen Öffnungen (Bohrungen) versehen.
Das Besondere an diesem Verfahren ist, dass mittels Messtechnik versucht wird, sich mit der Rüttelfrequenz der Eigenfrequenz des Bodens zu nähern und damit den Verdichtungseffekt entsprechend zu erhöhen. Kann eine Resonanzschwingung erzeugt werden, so erreicht die Energieübertragung in den Boden ihr Maximum.

Eingesetzt werden kann das MRC-Verfahren sowohl in wassergesättigten als auch in erdfeuchten locker gelagerten sandigen Böden. Insbesondere für das Verdichten von wassergesättigten gleichkörnigen Sanden ist das MRC-Verfahren geeignet.

Abbildung 3: MRC-Tiefenverdichtung (aus [65])

Der Verdichtungsprozess bzw. die Verdichtungsarbeit können in drei Phasen unterteilt werden ([66]):

1. Einbringen der Bohle (mit möglichst hoher Vibrationsfrequenz, um den Eindringvorgang zu erleichtern),

2. Verdichtung (mit Anpassung der Erregerfrequenz und der messtechnischen Steuerung dieser Frequenzanpassung) und

3. Ziehen der Bohle (wiederum mit möglichst hoher Frequenz, um das Ziehen zu erleichtern und eine Wiederauflockerung im Ziehprozess zu vermeiden).

Ebenso wie bei der RDV werden Trägergeräte zur Aufnahme der Rüttelelemente benötigt. Dabei kann der Erreger freischwingend an einem Kranseil hängen oder in einem mäklergeführten System installiert sein. Hieraus ergibt sich, dass das Trägerfahrzeug nah (bei einem freischwingenden System) oder direkt an der Verdichtungsstelle (bei einem mäklergeführten System) positioniert ist. Die Standsicherheit des Trägergerätes muss jederzeit gewährleistet werden. Dies bedeutet, dass die Aufstandsfläche des Trägergerätes stets einen ausreichenden Abstand zum Grundwasserspiegel aufweisen muss. Durch die Verdichtung und den sich ausbildenden Senkungstrichter kann eine Schiefstellung des Trägerfahrzeuges bewirkt werden, so dass die zulässigen Arbeitsneigungen des Geräteträgers (Raupenkran, Bagger mit Mäkler) überschritten werden können.

Die erreichbaren Verdichtungstiefen werden durch die Länge der Rüttelelemente (Länge der Rüttelbohlen) begrenzt. Bei Einsatz eines mäklergeführten Gerätes begrenzt sich die Tiefenreichweite durch die Länge des Mäklers. In [38] werden für das MRC-Verfahren erreichbare Verdichtungstiefen bis etwa 15 m angegeben.

In der Literatur ([65]) ist die erfolgreiche Anwendung dieser Verdichtungstechnologie in Europa und im Fernen Osten beschrieben.

Im Arbeitsbereich der LMBV mbH wurde das Verdichtungsverfahren im Tagebaurestloch Nachterstedt/Schadeleben eingesetzt ([66]).

Eine Anwendung des MRC-Verfahrens zur Verdichtung der locker gelagerten Sande in der Lausitz ist nicht bekannt.

Für den Einsatz am Knappensee ist das MRC-Verfahren zum Verdichten der locker gelagerten gerundeten Sande mit einem geringen Feinkornanteil prinzipiell als geeignet anzusehen.

Durch die Begrenzung der Tiefenreichweite auf maximal 15 m schränkt sich jedoch das mögliche Einsatzgebiet zur Herstellung der Stützkörper am Knappensee deutlich ein.

Ebenfalls zu bedenken ist, dass das Verfahren bisher nur in sehr geringem Maße (nach unserem Kenntnisstand nur einmalig) bei der Verdichtung von Tagebaukippen im Verantwortungsbereich der LMBV mbH angewendet wurde. Demnach liegen nur sehr geringe Erfahrungen für diese Technologie vor, so dass dieses Verfahren für die aktuellen Lausitzer Verhältnisse nicht als bewährte Verdichtungstechnologie bezüglich der Zielerreichung angesehen werden kann.

Der ergänzende Einsatz dieser Technologie zur Komplettierung der mit einer anderen Technologie (z. B. RDV) hergestellten Stützkörper oder auch als Alternativtechnologie zur oberflächennahen Rüttelverdichtung ist jedoch durchaus denkbar und kann einen Bestandteil weiterer Betrachtungen bilden.

c) Herstellen eines Versteckten Dammes mittels Rüttelstopfverdichtung

In Böden mit einem höheren Feinkorngehalt, wie z. B. schluffigen Sanden, stößt die Rütteldruckverdichtung technisch und wirtschaftlich an ihre Grenzen ([38]). Um derartige Böden ebenfalls zu verbessern wurde das Rüttelstopfverfahren entwickelt.

Bei diesem Verfahren handelt es sich gegenüber der Rütteldruckverdichtung um ein Verfahren, bei dem das Bodenmaterial (im Falle des Knappensees Kippenmaterial) durch Zugabe eines Stopfmaterials verdrängt wird. Das eingebrachte Material (i.d.R. Schottermaterial) wird verdichtet, so dass Schottersäulen entstehen, welche mit dem zu verbessernden Boden eine intensive Verzahnung bilden. Dieser verbesserte Boden weist gegenüber dem Ausgangszustand eine höhere Scherfestigkeit und damit Tragfähigkeit auf.

Am häufigsten wird die RSV zur Verbesserung nicht oder gering tragfähiger Böden eingesetzt.

Die Herstellung von Rüttelstopfsäulen kann mittels Schleusenrüttler erfolgen. Bei diesem Verfahren wird das Material direkt über die Rüttelstopflanze in den Boden eingebracht. Eine alternative Variante ist die Herstellung mittels Tiefenrüttler wie bei der RDV. Dabei erfolgt die Materialzugabe von der Oberfläche aus über den Ringspalt des Rüttelpunktes. Hierbei ist jedoch die seitliche Materialverdrängung geringer.

Die Rüttellanze kann als frei schwingendes System (ähnlich der RDV-Lanze) oder als mäklergeführtes System ausgebildet werden. Vor allem für die Herstellung von Schottersäulen in bindigen Bodenmaterialien hat sich der Einsatz von Tiefenrüttlern am Mäklergerät durchgesetzt. Durch die Mäklerführung kann die Einhaltung der Vertikalität garantiert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, den Eindring- und Verdichtungsvorgang mit der vertikalen Druckkraft des Mäklers zu beschleunigen bzw. zu unterstützen ([38]). Dies ist baupraktisch auch häufig erforderlich.

Im Sanierungsbergbau werden überwiegend frei schwingende Systeme eingesetzt. Hier kann durch die Auslenkung des Auslegers ein gewisses Vorland zum Trägergerät erreicht werden. Damit ist eine deutlich höhere Gerätesicherheit für das Trägergerät gegeben. Bei Geräten mit Mäklerführung steht die Arbeitsmaschine direkt am Verdichtungsort. In verflüssigungsgefährdeten Böden ist damit eine entsprechend geringere Gerätesicherheit vorhanden.

Mit dem Rüttelstopfverfahren (RSV) wird der Einsatzbereich der dynamischen Vibrationsverdichtung gegenüber dem Spektrum der RDV für Böden mit hohen Schluff- und Tonanteilen erweitert. Die Tragfähigkeit der hergestellten Schottersäulen ist dabei stark von der Interaktion zwischen der Säule und dem Boden abhängig. Als zusätzlicher positiver Aspekt des Einsatzes der RSV in Kippenböden ist festzustellen, dass in dem verbesserten Boden zusätzlich die vertikale Durchlässigkeit erhöht wird und sich damit Porenwasserüberdrücke schneller abbauen können.

Meist wird oberhalb der hergestellten Säulenköpfe eine ausreichend mächtige Schicht (ca. 0,5 x Säulenabstand in [m]) aus tragfähigem Material aufgebracht, so dass sich eine Gewölbeausbildung ausbilden kann.

Bei der RSV ist es ebenso wie bei der RDV Stand der Technik, dass alle relevanten Herstellungsparameter kontinuierlich aufgezeichnet werden können. Damit wird für den Anwender eine computergesteuerte Überwachung der kontrollierten Herstellung und damit Qualitätssicherung des Verfahrens möglich.

Die erreichbaren Verdichtungstiefen sind bei Mäklergeräten abhängig von der Länge des Mäklers. Bei frei schwingenden Einheiten wird die erreichbare Verdichtungstiefe durch die Länge der Rüttellanze begrenzt. In [38] werden für die RSV erreichbare Verdichtungstiefen bis etwa 26 m angegeben. Mittlerweile ist die RSV-Technologie bis zu Verdichtungstiefen von 40 m ausgelegt. Gebräuchliche Anwendungstiefen bei der herkömmlichen (nicht mit Verflüssigung des Untergrundes zusammenhängenden) Baugrundverbesserung (Erhöhung der Tragfähigkeit) liegen bei ca. 7 m bis 15 m.

Der Einsatz der RSV ist gegenüber der RDV in Bereichen von Vorteil, in denen die RDV keine ausreichende Verdichtung erzielen kann oder die Verdichtungswirkung erst nach sehr langer Rütteldauer eintritt.

Abbildung 4: Rüttelstopfverdichtung ([28])

Die Verbesserung des Baugrundes mittels RSV bezüglich Tragfähigkeit und Verformungsverhalten ist von folgenden Parameter abhängig:

- den bodenmechanischen Eigenschaften des unverbesserten Bodenmaterials,
- den Abmessungen und Abständen der Stopfsäulen.

Das Verfahren der Rüttelstopfverdichtung zur Herstellung von Versteckten Dämmen ist für den Einsatz am Knappensee prinzipiell geeignet. Als besonders positiv ist anzusehen, dass Kippenbereiche mit einem höheren bindigen Anteil in der Kornverteilung verbessert werden können.

Das Verfahren findet bei der Baugrundverbesserung von nicht tragfähigen Böden eine breite Anwendung und weist eine entsprechende technische Ausführungsreife auf. Die RSV ist in der Bauwirtschaft eine bewährte Verdichtungstechnologie.

Ein kritischer Punkt ist der Bedarf an Rüttelstopfmaterial. Dieses kann am Knappensee nicht gewonnen werden und ist somit in Form von anzuliefernden Fremdmaterial bereitzustellen. Hieraus ergibt sich ein entsprechender logistischer und finanzieller Aufwand.

Da die Kippenböden am Knappensee überwiegend einen geringen Feinkornanteil aufweisen und deshalb davon ausgegangen wird, dass sie mittels RDV verdichtet werden können und unter Berücksichtigung des Bedarfes an zusätzlichem Schottermaterial ist dieses Verfahren nicht als Vorzugsvariante zur Herstellung der Stützkörper zu bewerten. Diese Verdichtungstechnologie kann jedoch in begrenzten Bereichen eine betrachtenswerte Alternative darstellen und sollte somit in weitere Betrachtungen einbezogen werden.

d) Herstellen eines Versteckten Dammes mittels Sprengverdichtung (SPV)

Neben den vorstehend beschriebenen Möglichkeiten einer Verdichtung des locker gelagerten Bodens durch Eintrag von Vibrationen (mittels Rüttelelementen) wurde, unter anderem an der TU Bergakademie Freiberg, die Verdichtung von locker gelagerten rolligen Böden mittels Sprengverdichtung untersucht und bis zur Ausführungsreife weiterentwickelt.

Bei der Sprengverdichtung wird durch das Zünden von Sprengstoff (dessen Ladungsmenge speziell nach Regeln ermittelt wird) eine Druckwelle innerhalb des Lockergesteins erzeugt. Diese Druckwelle bewirkt eine Gefügezerstörung des Korngerüstes im Nahbereich der gezündeten Ladung. Infolge der Explosionsdruckwelle sowie der erzeugten Verformungen entstehen Porenwasserüberdrücke. Diese bewirken eine Reduzierung der wirksamen Festigkeit (bis gegen Null) des locker gelagerten sandigen und wassergesättigten Bodens. Die in der Suspension befindlichen Körner lagern sich unter der Einwirkung der Auflast ab. Mit der entstehenden Neuordnung des Korngerüstes ist eine Verringerung der Porosität bei gleichzeitiger Erhöhung der Scherfestigkeit verbunden ([38],[66]).

Abbildung 5: Sprengverdichtung (Auswurf bei einer Gruppensprengung)

Wirksam kann die Sprengverdichtung nur in wassergesättigten locker gelagerten rolligen Materialien (also unterhalb der Grundwasseroberfläche) angewendet werden, da die mit dem Gefügezusammenbruch bewirkte undränierte Belastung und die Porenwasserdruckerhöhung innerhalb des Kippenkörpers elementar wichtige Bausteine innerhalb der Sprengverdichtung darstellen. In erdfeuchten Bereichen des Kippenkörpers kann mittels Sprengverdichtung keine Verringerung der Porosität erreicht werden, so dass diese Verdichtungstechnologie nur innerhalb der wassergesättigten Kippe erfolgreich anwendbar ist. Im allgemeinen Anwendungsgebrauch bei der Herstellung von Stützkörpern werden die Sprengverdichtung unterhalb des Grundwasserspiegels und die Rütteldruckverdichtung in den oberen erdfeuchten Kippenbereichen nacheinander und sich quasi ergänzend eingesetzt.

Vorteile der Sprengverdichtung sind der relativ geringe Technikbedarf (im Wesentlichen nur Bohrgeräte und Sprengzubehör) und die flexible Einsetzbarkeit (auch in schlecht zugänglichen Kippenbereichen). Die Gerätestandsicherheit (für die Bohrgeräte) ist bei der Sprengverdichtung in der Regel durch eine ausreichende erdfeuchte Überdeckung gewährleistet. Bei der eigentlichen Sprengung wird die gesamte Technik auf sicheres bzw. gesichertes Gelände zurückgezogen. Durch den relativ einfachen Technikeinsatz und die geringe Herstellungszeit der Bohrlöcher lassen sich sehr günstige Verdichtungspreise (pro m³ verdichtetes Volumen) erreichen.

Ein gewisser Nachteil der Sprengverdichtung sind die durch den Stoß eingetragenen Schwingungen. Die bei der Sprengung in den Kippenkörper eingetragenen Schwingungen breiten sich allseitig aus und können unter Umständen bei naher Bebauung zu Beeinträchtigungen bis hin zu entsprechenden Schäden führen. Damit ist bei Bestehen sehr naher Bebauung eine klare Anwendungsgrenze für die Sprengverdichtung gegeben.

Eine weitere Unsicherheit besteht in der Reaktion des Kippenmassives auf die Sprengeinwirkung. Trotz umsichtiger und konservativer Bemessung der Sprengladungen können eine größere Reaktion des Kippenkörpers und damit zusammenhängende Verformungen nicht vollständig ausgeschlossen werden. Damit verbunden ist das Risiko von größeren Rutschungen und Deformationen, die auch in das Böschungshinterland eingreifen können.

Aktive Steuermöglichkeiten z. B. durch die Messung des Porenwasserdruckes und damit eine PWD-gesteuerte Fahrweise wie etwa bei der RDV oder anderen vibrierenden Verdichtungstechnologien bestehen bei der Sprengverdichtung nicht. Porenwasserdrücke werden zwar auch gemessen. Sie dienen in erster Linie der Bemessung von Anpassungen für noch durchzuführende Sprengungen.
Eine Möglichkeit, den Wirkungsradius zu beeinflussen und begrenzte kollapsartige Erscheinungen zu verhindern, stellen Dränagebohrungen dar. Aktuell wird dies im Rahmen eines Großversuches zum oberflächennahen schonenden Sprengen bei der LMBV mbH untersucht.

Neben der Hauptvoraussetzung einer vollständigen Wassersättigung der zu verdichtenden Kippenbereiche zur Anwendung der Sprengverdichtung sind weitere geometrische und geotechnische Parameter zu berücksichtigen:

- Kippenhöhe bzw. -mächtigkeit (H_K)
- Wasserstandsverhältnisse in der Kippe (aktuell und prognostiziert) (H_{WK}),
- Überdeckungshöhen zwischen dem Grundwasserspiegel und der Geländeoberkante ($h_ü$),
- der Abstand des zu verdichtenden Kippenbereiches zu evtl. gefährdeten Objekten bzw. zu schützender Bebauung,
- Korngrößenverteilung (insbesondere der Feinkornanteil $d \leq 0{,}06$ mm) und die Wasserdurchlässigkeit k_f,
- Lagerungsdichte,
- Festigkeiten und die
- natürliche Rohdichte.

Die Kippenmaterialien an den Uferböschungen des Knappensees liegen bis zur Kippenbasis zu großen Teilen unter dem Wasserspiegel des Sees bzw. des Grundwasserspiegels. In den vorliegenden Untersuchungen wurde eine überwiegend lockere Lagerungsdichte der gut gerundeten Kippenmaterialien nachgewiesen. Damit ist formal eine generelle Anwendbarkeit der Sprengverdichtung zur Herstellung der Stützkörper am Knappensee gegeben.
Aufgrund der vorhandenen Bebauungssituation (relativ geringer Abstand zwischen der Lage des Stützkörpers und der vorhandenen Bebauung) zeigt sich aber, dass zum einen nur sehr geringe Schwinggeschwindigkeiten zugelassen werden können und zum anderen Teilbereiche der vorhandenen Bebauung innerhalb einer möglichen Rückgriffweite einer Setzungsfließrutschung liegen können.
Darüber hinaus liegen in erheblichem Umfang Medienleitungen innerhalb des Sperrbereiches und damit der Fläche die u. U. von einem Böschungsversagen betroffen sein kann.

Aufgrund dieser geometrischen bzw. standorttypischen Gegebenheiten ist die Sprengverdichtung als Haupttechnologie zur Herstellung der versteckten Dämme am Knappensee als ungeeignet anzusehen.

Ergänzend kann die Sprengverdichtung jedoch ein durchaus geeignetes Mittel darstellen. Zum Beispiel können mittels SPV die Böschungen der Insel einer Vorbelastung unterzogen und damit gegenüber den in der Bewirtschaftung und Nutzung zu erwartenden Initialen desensibilisiert und partiell verdichtet werden.
Ebenso ist der Einsatz des „schonenden Sprengens“ mit sehr geringen Ladungsmengen zur oberflächennahen Verdichtung beispielsweise im Stützkörpervorfeld denkbar.

e) Herstellen eines Versteckten Dammes mittels Fallgewichtsverdichtung

Die Fallgewichtsverdichtung wurde seit Ende der 1960er Jahre durch den Einsatz von Geräten, die höheren dynamischen Beanspruchungen standhalten, an neue Anwendungsgrenzen herangeführt ([38]).

Das Grundprinzip dieser Verdichtungstechnologie besteht auf dem Eintrag von großen kinetischen Energien (Fallenergie) in den locker gelagerten bzw. zu verdichtenden Untergrund und damit verbunden einer Verbesserung der bodenmechanischen Eigenschaften.

Praktisch erfolgt die Eintragung der Energie durch das Fallenlassen einer großen Masse (Fallgewichte mit bis zu 40 t Masse) aus einer festgelegten Höhe (5 m bis 40 m) auf den zusammendrückbaren Untergrund. Die eingetragene Energie wird in Verformungsarbeit umgewandelt und in Abhängigkeit von der zu bearbeitenden Bodenart kommt es zu einer Schockbruchverdichtung (bei locker gelagerten rolligen Böden) bzw. zu einer Konsolidation bindiger Böden.

Bei rolligen und trockenen lockeren Böden tritt der Verdichtungseffekt durch Kornumlagerung und Kornzertrümmerung sehr schnell ein. Eine Verbesserung der Trageigenschaften bei bindigen bzw. wassergesättigten Böden erfolgt mit einer zeitlichen Verzögerung ([66]). In [38] werden bei der Verdichtung von bindigen Böden folgende Effekte als wirksam bezeichnet:

a) Steifigkeitserhöhung durch den Stoß, verbunden mit einem Konsolidationsvorgang

b) Verflüssigungseffekte mit Aufbau von Porenwasserüberdruck und nachfolgender Konsolidation auch durch an *Van-der-Waals*-Kräfte gebundenes Porenwasser

c) Erhöhung der Durchlässigkeit durch spontane Rissbildung in bindigen Böden.

Die Wirkungsweise in bindigen Böden kann auch auf wassergesättigte locker gelagerte rollige Böden übertragen werden.
Durch den zeitverzögert ablaufenden Konsolidationsvorgang kommt der Bestimmung der Zeitabstände der einzelnen Übergänge eine große Bedeutung zu. Mit zunehmender Anzahl der Schläge steigt der Porenwasserdruck im zu verdichtenden Boden an. Dies erfolgt bis zum Verflüssigungszustand des Materials. Tritt eine Verflüssigung ein, so kann das Lockergestein nicht durch weiteren Schlagenergieeintrag verdichtet werden. Um weitere Verdichtungsenergie eintragen zu können ist erst eine Ruhephase zum Abbau der Porenwasserüberdrücke notwendig. Durch die radial zum Aufschlagpunkt unter der Schockeinwirkung entstehenden Spannungsrisse erfolgt der Porenwasserdruckabbau schneller als es die „normale“ Durchlässigkeit des ungestörten Lockergesteins erwarten lässt.

Als Trägergeräte werden im Allgemeinen Raupenkrane einschlägiger Anbieter eingesetzt. Für besondere Einsätze mit sehr schweren Fallgewichten und/oder großen Fallhöhen können speziell angefertigte Sondergeräte eingesetzt werden (siehe folgende Abbildungen).

Abbildung 6: Raupenkran (aus [55]) Abbildung 7: Tripode ([55])

Die Wirkungstiefe wird in der Literatur mit 8 m, bei günstigen Bodenbedingungen mit max. 10 m angegeben ([38]).

Das Hauptanwendungsgebiet der Fallgewichtsverdichtung ist vor allem in der Verbesserung der Trageigenschaften großer Gründungsflächen (z. B. Landebahnen, Erweiterungsflächen auf gering tragfähigem Baugrund, etc.) und in der Verdichtung von Deponiekörpern (zur Verringerung des bestehenden Deponievolumens) zu sehen ([66]).

Im Zusammenhang mit der Verdichtung von Kippenmaterial wird dieses Verfahren erst seit Mitte der 1990iger Jahre in der Lausitz angewendet.

Einschränkungen für die Anwendung dieses Verfahrens ergeben sich aus der notwendigen Gerätestandsicherheit für das Trägergerät. Auch die technologischen Parameter des Trägergerätes (zumeist Raupenkrane) begrenzen durch die zulässigen Neigungen des Arbeitsplanums (< 1:6) das Einsatzgebiet.
Eine weitere Randbedingung stellen die eingetragenen Erschütterungen und Schwingungen dar. Hieraus ergeben sich Mindestabstände zu Bebauung, weiteren baulichen Anlagen und zu Kippenböschungen im Bereich des Hinterlandes.

Für den Einsatz am Knappensee ist die FGV zum Verdichten der locker gelagerten Kippensande prinzipiell als geeignet einzustufen.

Durch die Begrenzung der Tiefenreichweite mit maximal 10 m schränkt sich jedoch das mögliche Einsatzgebiet zur Herstellung der Stützkörper am Knappensee deutlich ein.

Ebenso wie bei der Sprengverdichtung dürfen aufgrund der vorhandenen Bebauungssituation (relativ geringer Abstand zwischen der Lage des Stützkörpers und der vorhandenen Bebauung) nur sehr geringe Schwinggeschwindigkeiten zugelassen werden, um Schäden an der Bebauung zu vermeiden. Damit ergibt sich eine weitere Einschränkung der Anwendbarkeit dieses Verfahren für die Stützkörperherstellung am Knappensee.

Aufgrund dieser geometrischen bzw. standorttypischen Gegebenheiten ist die Fallgewichtsverdichtung als Haupttechnologie zur Herstellung der versteckten Dämme am Knappensee als ungeeignet anzusehen.

Durch den starken Schwingungseintrag und die damit verbundenen Belastungen für Bewohner und Nutzer sowie die hohen Aufwendungen für die Einrichtung der Baustelle ist das Verfahren auch als Ergänzung zu einer anderen Haupttechnologie nicht geeignet.

f) Herstellen eines Versteckten Dammes mittels Impulsverdichtung (Fa. Terramix)

Ein relativ neues Verfahren stellt die von der FA. TERRAMIX entwickelte Impulsverdichtung dar. Das Verdichtungsgerät besteht aus einem Verdichtungshammer, der an einem Raupenbagger installiert ist. Die Impuls-Verdichtung erfolgt, indem ein bis zu 12 t schweres Fallgewicht aus einer Fallhöhe von 1,2 m auf eine Prallplatte (den sogenannten Fuß) fällt und damit den darunterliegenden Boden komprimiert. Damit erfolgt die Verdichtung nach dem gleichen Wirkprinzip wie die Fallgewichtsverdichtung. Im Vergleich zur Fallgewichtsverdichtung wird mit der Impulsverdichtung eine deutlich höhere Schlagzahl erreicht. In der Literatur bzw. in Projektunterlagen ([27]) werden 40 bis 60 Schläge pro Minute angegeben.

Mit dem Verdichtungsverfahren können locker gelagerte rollige Böden und gemischtkörnige bis bindige Böden bearbeitet werden. Bisher wurden Beispiele für die Anwendung des Verfahrens hauptsächlich zur Verbesserung gering tragfähiger Böden und zur Verdichtung von Hochwasserschutzdämmen publiziert.

Eine Anwendung dieser Verdichtungstechnik im Bereich von Kippen ist nicht bekannt.

Laut Angaben der Fa. Terramix liegen die Wirktiefen der Verdichtung für Kiese und Sande bei 6-7 m, für schluffige Sande bei 4 m bis 5 m, für sandige Schluffe bei 3,5 m bis 4,5 m und für gemischtkörnige Böden bei 3 m bis 5 m. Locker gelagerte Böden können auf eine mindestens mitteldichte Lagerung verdichtet werden ([29]).

Abbildung 8: Geräteeinheit zur Impulsverdichtung ([29])

Die mit Impulsverdichtung eingetragene Energie der Einzelschläge ist gegenüber der Fallgewichtsverdichtung deutlich geringer. Demnach liegen auch die dynamischen Belastungen (Schwingungsbelastungen) deutlich unter denen der Fallgewichtsverdichtung, was die Anwendung des Verfahrens in Bereichen mit Bebauung erlaubt.
Durch den Einsatz eines herkömmlichen Hydraulikbaggers als Trägergerät für die Verdichtungseinheit sind gegenüber dem Einsatz von Raupenkranen als Trägergeräte die Einschränkungen bezüglich der Neigung der Arbeitsfläche deutlich geringer.

Für die Anwendung im Bereich verflüssigungsfähiger Kippen ist der Nachweis der Gerätestandsicherheit Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens.

Für den Einsatz am Knappensee ist die von der Fa. Terramix angebotene Impulsverdichtung für die Verdichtung der locker gelagerten Kippensande prinzipiell als geeignet einzustufen. Das mögliche Einsatzgebiet zur Herstellung der Stützkörper am Knappensee wird jedoch durch die Begrenzung der Tiefenreichweite auf maximal 7 m deutlich eingeschränkt. Als Haupttechnologie zur Herstellung der Stützkörper am Knappensee kann dieses Verfahren demnach nicht eingesetzt werden.

Ein zur Hauptverdichtungstechnologie ergänzender Einsatz dieses Verfahrens, beispielsweise zur Komplettierung der Stützkörper an der Oberfläche oder als Verdichtungstechnologie für geringere Tiefen ist jedoch durchaus denkbar und kann Bestandteil weiterer Betrachtungen sein.

5.2.4 Variante 3: Verdichten der Kippenbereiche mittels Luft-Impuls-Verfahren

Eine Beschreibung zum Luft-Impuls-Verfahren ist in [38] dargelegt. Das Luft-Impuls-Verfahren wurde in Ableitung der RDV und Sprengverdichtung als ein schonendes Verfahren für setzungsfließgefährdete Kippenmassen in jüngerer Vergangenheit entwickelt. Es kombiniert dabei die Horizontalbohrtechnik mit der Airgun-Technik.

Bei der Airgun-Technik erfolgt der Impulseintrag in das locker gelagerte Bodenmaterial durch die Expansion von unter Druck stehendem Gas. Die Masse des entspannten Gases führt wiederum einen Stoß bzw. Impuls auf die Umgebung aus. Die Stoßwelle und an der Gerätewandung erzeugte Hohlraumaufweitung führen zu einer Erhöhung des Porenwasserdruckes und in dessen Folge zu einer gewünschten lokalen Verflüssigung (wie beim RDV-Verfahren). Die Intensität des Impulses kann dabei durch den Massenstrom der Luft gesteuert werden.

Der Vorteil des Verfahrens zeichnet sich vor allem im relativ geringen Platzbedarf für die Technik und deren Durchführung aus. Während bei der landseitigen aber tlw. auch seeseitigen Durchführung der RDV die Standsicherheit und Bewegungsfreiheit über die gesamte Trasse des Versteckten Dammes für die Gerätetechnik gewährleistet sein muss, reichen für das Luft-Impuls-Verfahren einzelne Flächen für die Standorte der Technik aus. Der überwiegende Teil der Erstellung des Versteckten Dammes erfolgt durch den Horizontalbohrvortrieb unterirdisch. In der vorliegenden Literatur werden keine Aussagen zur oberflächigen Verdichtung ausgeführt. Das Luft-Impuls-Verfahren ist systembedingt nur in wassergesättigten Böden einsetzbar. Deshalb wird für die oberflächennahen Bereiche ein Nachverdichten erforderlich sein. Damit wird der Vorteil des geringen Platzbedarfes sowie geringen Flächenbedarfes mit der erforderlichen Nachbearbeitung hinfällig.

Wie bei der RDV nimmt auch bei diesem Verfahren mit zunehmendem Anteil an bindigem Bodenmaterial die Verdichtungswirkung ab. Bei der Durchführung kann es in bestimmten Materialien erforderlich werden, dass die Bohrlochwandungen mittels Suspension gestützt werden müssen.

Ebenso wie bei der RDV wird auch durch das Luft-Impuls-Verfahren im Umfeld des „Airguns“ eine lokale Verflüssigung ausgelöst. Erfahrungen zeigen, dass durch die relativ hohen erforderlichen Impulse großräumige Verflüssigungen und Geländebrüche nicht selten auftreten.

Bei dem Luft-Impuls-Verfahren handelt es sich derzeit um einen Entwicklungsstand um kein serienmäßig ausgereiftes Verfahren, so dass für eine Durchführung relativ hohe Unsicherheiten bezüglich der technologischen aber auch wirtschaftlichen Einsetzbarkeit bestehen.

Die durchgeführten Tests, in denen dieses Verfahren untersucht wurde, zeigen bezüglich der Baudurchführung und des Ergebnisses positive aber in vielen Fällen auch negative Resultate. So zwangen technologische Schwierigkeiten oft zu Anpassungen und Baustillständen. Darüber hinaus wurden, wie bereits beschrieben, wurden durch die großen Impulse entsprechende Geländebruchereignisse ausgelöst. Vor allem aufgrund der technologischen und gerätetechnischen Schwierigkeiten hat sich das Verfahren des Luft-Impulses bis heute noch nicht als eine Ausführungstechnologie zur Herstellung von Stützkörpern etabliert.

Der Einsatz des Luft-Impuls-Verfahrens zur Herstellung von Stützkörpern am Knappensee ist aufgrund der nicht vorhandenen Ausführungsreife des Verfahrens und der damit verbundenen Unsicherheiten nicht geeignet.
Es liegen nur sehr geringe Erfahrungen für diese Technologie vor, so dass dieses Verfahren nicht als bewährte Verdichtungstechnologie bezüglich der Zielerreichung angesehen werden kann.

5.2.5 Variante 4: Flächenhaftes Verdichten der Kippenbereiche mittels Sprengverdichtung

Zur Beseitigung der mit den lockeren wassergesättigten Kippenmassen zusammenhängenden Verflüssigungsgefahr kann eine flächenhafte Verdichtung als Sicherungslösung vorgesehen werden. Eine Möglichkeit zur Realisierung besteht in der Anwendung der Technologie der Sprengverdichtung. Dabei werden die unterhalb des Kippenwasserspiegels anstehenden lockeren Kippenmassen durch Sprengungen dynamisch angeregt, so dass diese sich in einer dichteren Lagerung absetzen. Durch die flächenhafte Bearbeitung werden die Gefahren, die sich aus der Verflüssigungsfähigkeit der lockeren Kippensande ergeben, auch im Böschungshinterland beseitigt.

Die Funktionsweise der Sprengverdichtung wurde bereits vorstehend beschrieben (vgl. Variante 2d in im Kapitel 5.2.7). Wie dort beschrieben, kann die Sprengverdichtung nur in wassergesättigten locker gelagerten rolligen Materialien wirksam angewendet werden. Der Umfang der damit verdichtbaren Massen beschränkt sich somit auf die unterhalb des Kippenwasserspiegels befindlichen Bereiche.

Durch die Verdichtung der lockeren Kippenböden werden sich an der Geländeoberfläche zum Teil deutliche Setzungen einstellen. Da diese nicht gleichmäßig eintreten werden, ist mit entsprechenden Schäden an der Bebauung und Infrastruktur zu rechnen, wenn diese im direkten Einwirkungsbereich der SPV liegen. Ebenso ist mit einer Veränderung der Geländeoberfläche und Beeinflussung des Baumbewuchses in Form von Schiefstellungen zu rechnen.

Die Sprengverdichtung ist steuerbar (u. a. durch Dimensionierung der Ladungsmenge, durch Zündzeitverzögerungen zwischen den Teilladungen sowie die Lage des Ladungseinbauortes unter Geländeoberfläche). Perforationsbohrlöcher als hydraulisches Steuerelement werden gegenwärtig untersucht. Rutschungen, die größere Schäden mit sich bringen können, sind trotz allem nicht gänzlich auszuschließen.

Mit einer flächenhaften Behandlung der Kippe mittels Sprengverdichtung kann die Setzungsfließgefahr der lockeren Kippenböden vollständig oder größtenteils beseitigt werden.

Diesem positiven Fakt stehen negative Einflüsse gegenüber.

Durch die Setzungsunterschiede die im Rahmen der Sprengverdichtung der wassergesättigten Kippenböden auftreten, ist mit einer Beschädigung der gesamten Bebauung (Gebäude, Infrastruktur) an der Kippenoberfläche zu rechnen. Auch bei vorsichtiger Anwendung der Sprengverdichtung können Rutschungen oder Geländeeinbrüche infolge Verflüssigung nicht vollständig ausgeschlossen werden. Die Folge sind evtl. Nacharbeiten in größerem Umfang. Eine Weiterführung der bisherigen Nutzung kann aufgrund der eintretenden Schäden nicht mehr möglich sein.

Ebenso können Beschädigungen an den Regeleinrichtungen und Bewirtschaftungsbauwerken der LTV eintreten, so dass die Funktionssicherheit des Speichers nicht mehr gegeben ist.
Neben der Beeinflussung der Kippenoberfläche und der darauf befindlichen Bebauung ist auch mit einem Erschütterungseintrag in die gewachsenen Bereiche des Kippenhinterlandes zu rechnen. Unter Umständen kann es in diesen Bereichen zu Schäden infolge der dynamischen Belastung des gewachsenen Untergrundes kommen.

Eine flächenhafte Anwendung der Sprengverdichtung am Knappensee zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr bzw. Verflüssigungsgefahr ist aufgrund der zu erwartenden Beeinflussung von Bebauung, der Infrastruktur, der Oberfläche und des Bewuchses als nicht geeignet einzustufen.

5.2.6 Variante 5: Sicherung der Kippenbereiche mittels Injektionen (HDI, Wasserglas oder Schaum)

Eine weitere Möglichkeit der Sicherung der Kippen durch Baugrundverbesserungsmaßnahmen stellen Injektionen dar. Es können Auffüllinjektionen aber auch ein Aufschneiden und eine Bodenvermörtelung mittels Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektionen, z. B. HDI) in den Kippenböden zum Einsatz kommen.

Beim Verfahren der Hochdruckinjektion wird der zu verbessernde Boden durch eine Hochdruckvermörtelung verfestigt. Im Speziellen findet das Verfahren im Rahmen von Unterfangungen oder Baugrundverbesserung an bestehenden Gebäudefundamten seine Anwendung. Bei diesem Verfahren lassen sich die unterschiedlichsten geometrischen Formen an erforderlichen Baugrundverbesserungskörpern herstellen. Die Technologie gestattet eine gute Anpassung an die örtlichen Verhältnisse.

Bei der Anwendung des Verfahrens in verflüssigungsgefährdeten Kippenböden ist zu beachten, dass die Herstellung und Ausbildung der Säulenkontur durch einen Hochdruckstrahl erzeugt wird. Im grundwassergesättigten Kippenboden besteht somit die Gefahr des Auslösens von lokalen Verflüssigungen. Darüber hinaus kann der Injektionserfolg nicht nachgewiesen werden. Probesäulen können zwar hergestellt, jedoch aufgrund der speziellen Verhältnisse in der Kippe und den örtlichen Randbedingungen (Lage des Grundwasserspiegels) nicht ausgegraben und geprüft werden.

Für den Einsatz des Düsenstrahlverfahrens ist eine kostenintensive Baustelleneinrichtung erforderlich.

Durch die abdichtende Funktion der mit diesem Verfahren hergestellten Körper werden bei diesem Verfahren die Strömungsverhältnisse im Kippenbereich beeinflusst.

Weitere Möglichkeiten der Sicherung mittels Injektionen stellen die Einbringung von Natriumsilikatgel (Wasserglas) oder „Schaum“ über Niederdrucklanzen dar. Bei der Einbringung des Natriumsilikatgels erfolgt eine Korn-zu-Korn-Verkittung.

Die Verfahren Injektion von Natriumsilikatgel, Schauminjektion sind noch nicht umfassend im speziellen Anwendungsbereich der Kippensanierung eingesetzt worden. Sie befinden sich in diesen Einsatzbereichen in der Erprobung.

Generell gilt für die Injektionsverfahren, dass der Einsatz nur in kleinen begrenzten Teilbereichen wirtschaftlich ist. Bei Injektionsverfahren, die hohe Drücke verwenden, wie dies beispielsweise bei dem Düsenstrahlverfahren der Fall ist, besteht die Gefahr von Initialeinträgen und somit des Auslösens von Verflüssigungen. Ein weiterer Nachteil bei der Anwendung in Kippenböden ist der Sachverhalt, dass der Injektionserfolg in situ nicht nachgewiesen werden kann.

Für eine umfassende Sicherung der Uferböschungen am Knappensee sind die Injektionsverfahren aufgrund der geringen Wirtschaftlichkeit und der intensiven Beeinflussung der hydrologischen Verhältnisse nicht geeignet. Jedoch ist eine Anwendung des Verfahrens für spezielle und räumlich begrenzte Teile/Bereiche, wie z. B. einer Gebäudesicherung denkbar.

5.2.7 Variante 6: Sperrung des Sees und der Kippenflächen

Mit der Unterlage zur Untersuchung der Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen wurden die bestehenden Gefahren erneut definiert und die zwingende Erforderlichkeit der Gefahrenabwehr von Leib und Leben nachgewiesen. Im Rahmen der Betrachtung der Geeignetheit der geplanten Gefahrenabwehrmaßnahmen sind auch die Umsetzungen von so genannten „Minimalvarianten“ zu prüfen, so wie sie eine Sperrung des Sees und der angrenzenden Kippenflächen darstellen könnte.

Aufgrund der bestehenden umfassenden Gefährdung gegenüber Verflüssigungsprozessen und Setzungsfließrutschungen wäre für diese Variante ein geschlossenes System erforderlich, das durch Absperrung mittels Umzäunung oder eine Mauer einen unbefugten Zugang zum See und den gefährdeten Kippenflächen zwingend verhindert. Die Größe des abzusperrenden Bereiches entspricht dabei den definierten maximalen Sperrbereichsgrenzen bzw. der Sicherheitslinie.

Eine Sperrung mit totalem Zutrittsverbot erfordert in der Umsetzung folgende Grundlagen:

- eine grundlegende Nutzungsänderung für den See und dessen Ufer- und Hinterlandbereiche,
- den Wegfall aller öffentlichen Nutzungen in und am See,
- den Freizug und Abriss aller sich innerhalb des Sperrbereiches befindlichen Gebäude und Objekte,
- den Entfall der forstwirtschaftlichen Nutzung im Sperrbereich,
- die Sicherung oder Außerbetriebnahme der vorhandenen Medieninfrastruktur,
- den Entfall der Nutzung des Sees als Speicher.

Ein striktes Betretungsverbot im Sinne einer totalen Sperrung ist unter den örtlichen Gegebenheiten nicht möglich. Die Durchführbarkeit folgender Sachverhalte muss gewährleistet sein:

- Brandschutz (Zugangsmöglichkeit von Rettungsfahrzeugen)
- Kontrollmöglichkeit der Zuflüsse sowie des Ablaufbauwerkes selbst dann, wenn keine Speicherbewirtschaftung erfolgt.

Für die in Havariefällen innerhalb des Sperrbereiches arbeitenden Personen besteht nach wie vor aufgrund der Art der möglichen Schadensszenarien und der Charakteristika des Ablaufes von Setzungsfließrutschungen die Gefährdung für Leib und Leben.

Die für die Errichtung einer kompletten Umzäunung erforderlichen Leistungen an Sicherungen und Demontage / Abriss stellen einen nicht zu unterschätzenden Aufwand dar, so dass die Variante keine Minimalvariante im eigentlichen Sinne darstellt. Bei der Variante Sperrung ist die Sperranlage für unbestimmte Zeit (generationsübergreifend) aufrecht zu erhalten und entsprechend funktionstüchtig zu halten. Erfahrungsgemäß kann durch jegliche Sperranlagen nicht ein Betreten von Dritten in den Sperrbereich dauerhaft wirksam verhindert werden.

Bei der Variante Sperrung sind der Hochwasserschutz sowie die Niedrigwasseraufhöhung mit der Einstellung der Speicherbewirtschaftung nicht mehr gewährleistet. In diesem Zusammenhang entstehen für die Flächen und Fließgewässer der den Knappensee umgebenden Gebiete entsprechende Auswirkungen.

Allein für die mit der Sperrung erforderliche Mediensicherung (Verdämmung der Rohrleitung oder auch Rückbau) können Kosten zwischen XXXXXXX bis XXXXXXX abgeschätzt werden (siehe Anlage 6).

In der Zusammenschau der Vor- und Nachteile der Variante Sperrung des Knappensees und seiner angrenzenden Kippenflächen überwiegen klar die Nachteile, die im Gegensatz zur Erforderlichkeit und der Zielerreichung stehen. So sind die Maßnahmen, die für eine Sperrung erforderlich wären, mit einem sehr großen technologischen Aufwand (Freizug, Abriss, Sicherung der Medien) verbunden. Weiterhin erfordert eine Sperrung einen ständigen Kontroll- und Instandhaltungsaufwand der Absperrelemente.

Gravierend bezüglich der Zielerreichung und Verhältnismäßigkeit sind jedoch die bestehen bleibenden Gefahren und deren Auswirkungen auf angrenzende Bereiche.

Wie bereits in Kapitel 5.1 abgeleitet, erfüllt die Variante der Sperrung nicht die Anforderung der erforderlichen Maßnahmen in Bezug auf die Zielerreichung als auch der Verhältnismäßigkeit. Somit ist die Variante Sperrung des Sees und der angrenzenden Kippenflächen aufgrund der Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen als Alternativvariante nicht nutzbar. Sie stellt in Folge keine näher zu betrachtende Alternativvariante dar.

Eine Sperrung des Knappensees und der angrenzenden Kippenflächen ist unter Berücksichtigung der Sicherungszielstellung keine geeignete Maßnahme zur Gefahrenabwehr.

5.2.8 Variante 7: Sperrung von Teilflächen und teilweise Sicherung

Wie mit der Betrachtung der Variante 6 abgeleitet stellt die komplette Sperrung des Sees keine Alternativvariante zu technologischen Sicherungsarbeiten dar.

In der durchzuführenden Betrachtung sollte gemäß der Aufgabenstellung [5] auch diskutiert werden, ob neben zu sichernden Bereichen einzelne ausgehalten werden können, für die eine Sperrung ohne weitere Sicherungsmaßnahmen dennoch möglich ist.

Grundlage für diese weiterführende Betrachtung ist das Ergebnis der Untersuchung zur Erforderlichkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen, bei der abgeleitet wurde, dass an allen Uferbereichen an denen Kippenmaterial ansteht, Setzungsfließgefahr als auch Verflüssigungsgefährdung mit Geländebrüchen besteht und Maßnahmen zur Beseitigung der Gefahr zwingend erforderlich sind.

Es wurde abgeleitet, dass in jedem zu sichernden Uferabschnitt Initiale in verschiedenster Form auftreten und Verflüssigungen auslösen können. So ist es in abgesperrten Bereichen nicht möglich, Initiale, die beispielsweise durch Naturereignisse eingetragen werden und zu Rutschungen führen können, vollständig auszuschließen. Beim Auftreten von Rutschungsereignissen entstehen durch Massenverdrängungen Schwallwellen, so dass sich auf dem See befindende Personen gefährdet sind. Wie bereits bei Variante 6 erläutert, müssen die gesperrten Bereiche für Havarie- und Pflegearbeiten betreten werden. In den Uferbereichen müssen in regelmäßigen Abständen Holzungen durchgeführt werden um Initialeinträge aus beispielsweise Baum- und Windbruch zu vermeiden. Für die innerhalb des Sperrbereiches arbeitenden Personen bestehen nach wie vor die definierten Gefahren.

Sperrungen von Teilbereichen erfordern auch seeseitige Absperrmaßnahmen, die erfahrungsgemäß nur bedingt umsetzbar sind.

Aus Gründen der fehlenden Zielerreichung auch die Variante von Teilsperrungen keine dauerhafte Maßnahme zur Gefahrenabwehr dar, da nach wie vor von den gesperrten Bereichen Gefährdungen ausgehen. Auf Grundlage der Risikobewertung (siehe Kapitel 5.1) repräsentieren Absperrmaßnahmen nur Erstsicherungsmaßnahmen. Aufgrund der bestehenden Gefahrensituation sind entsprechende Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen erforderlich.

5.2.9 Variante 8: Verfüllung des Sees

Eine mögliche Variante zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr stellt die Verfüllung des Sees dar. Diese Variante ist nur unter einer grundlegenden Nutzungsänderung möglich.

Der See ist zur Beseitigung der bestehenden Gefährdung so zu verfüllen, dass nach Abschluss der Arbeiten keine Uferbereiche mehr vorhanden sind und damit Setzungsfließrutschungen ausgeschlossen werden. Die Höhe der Verfüllung ist so zu gestalten, dass Geländebrüche infolge Verflüssigungen weitestgehend ausgeschlossen werden. Damit ergibt sich eine Mindestüberdeckung von 2 m über dem prognostizierten höchsten Grundwasserstand in der Kippe.

Das Speichervolumen des Knappensees beträgt bei Maximaleinstau (Z_V = +126,0 m NHN) 6,38 Mio m³. Der Totraum, der Raum in Speicherbecken zwischen Niedrigstau und Seeboden, wird seitens der LTV mit 10,77 Mio m³ angegeben. Die Seefläche beträgt ca. 260 ha bei einem Wasserstand von H_W = +125,5 m NHN und ca. 280 ha (2,8 Mio m²) bei einem Wasserstand von +126,00 m NHN.

Im Ergebnis dieser Ausgangsdaten kann das Verfüllvolumen inkl. Aufhöhung und Profilierungsmassen mit einem Volumen von 25 Mio m³ abgeschätzt werden. Damit ergeben sich für die Verfüllung Kosten allein für den Massenbedarf XXXXXXX bis XXXXXXX. Die Gesamtkosten würden in der Umsetzung bei Beachtung aller Randbedingungen ein entsprechendes Vielfaches betragen, abgesehen von der Tatsache, dass nicht ohne Weiteres 25 Mio m³ an geeignetem Erdmaterial regional sofort zur Verfügung stehen würden.

Eine Verfüllung des Knappensees würde zu einem vollständigem Verlust der wassergebundenen Biotope und Lebensräume im und am Knappensee führen.

Auswirkungen auf das regionale Klima können durch den Verlust der Wasserfläche ebenfalls nicht ausgeschlossen werden.

Folgenden Nutzungsänderungen sind bei der Variante erforderlich bzw. ergeben sich in Folge deren Umsetzung:

- Wegfall der Speichernutzung inkl. Hochwasserschutz und Niedrigwasseraufhöhung,
- Veränderung der Umgebungsbedingung der Wohnbebauung,
- Veränderung der touristischen und freizeitlichen Nutzung,
- erhebliche Beeinträchtigung für Flora und Fauna durch Zerstörung von Lebensräumen.

Weiterführend würden die hydrogeologischen Verhältnisse im Gebiet geändert. Für die Vorfluter wären entsprechende Gefälleverhältnisse zu planen.

Allein die Sachverhalte der Nutzungsänderung stehen im Gegensatz zur Zieldefinition des Kapitels 4. Weiterführend ist die Variante in Betrachtung der erforderlichen Aufwendungen und Kosten als unwirtschaftlich bzw. unverhältnismäßig und damit ungeeignet zu charakterisieren.

Die Variante der Verfüllung des Knappensees wird aufgrund der Unvereinbarkeit mit den erforderlichen Zielen der Gefahrenabwehr nicht weiterführend betrachtet.

5.2.10 Variante 9: Aushub der zur Verflüssigung neigenden Kippenmaterialien

Eine weitere Möglichkeit zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr stellt der Aushub der zur Verflüssigung neigenden Kippenmaterialien dar.

Jedoch ist die Variante des Aushubes nur für Teilbereiche anwendbar, da ein Gesamtaushub der Kippenmaterialien aufgrund der Verbreitung und der Mächtigkeit der Kippenmaterialien sowohl technisch als auch wirtschaftlich nicht möglich ist.

Der Aushub von Kippenmaterialien in Teilbereichen muss so erfolgen, dass von den entsprechenden Uferabschnitten keine Setzungsfließgefahr mehr ausgehen kann.

Technologisch kann dies seeseitig mittels Saugspülbagger oder pontongebundener Baggereinheit ausgeführt werden. Auch eine landseitige Ausführung, ausgehend von gewachsenen Uferbereichen ist unter gewissen Randbedingungen denkbar.

Für den Knappensee ist ein Aushub von Kippenböden in solchen Bereichen sinnvoll, wo seinerzeit geringmächtige Anschüttungen an das gewachsene Böschungssystem vorgenommen wurden. Insbesondere gilt dies für das westliche Ufersystem der Planungsabschnitte A und B. Für diese genannten Bereiche könnte ein Aushub der Kippenmaterialien eine Alternativvariante zu anderen Sicherungstechnologien darstellen und ist in der speziellen Variantendiskussion weiterführend zu betrachten.

5.2.11 Varianten zur Vermeidung von Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung

GV1 Großräumiges Absenken des Kippenwasserspiegels

Diese Variante ist identisch mit der Variante 1, die ausführlich im Kapitel 5.2.1 beschrieben wurde.

GV2 Dränagen (Vertikaldräns)

Eine Minderung der Verflüssigungsgefahr kann durch ein Verhindern des Aufbaus bzw. das Begrenzen der Ausbreitung von Porenwasserüberdrücken erreicht werden. Hierzu werden im Kippenboden Dränageelemente eingebracht, die gegenüber dem vorhandenen Kippenboden eine signifikant höhere Durchlässigkeit aufweisen. Durch diese Dränageelemente kann sich ein Porenwasserüberdruck aufgrund der höheren Wasserdurchlässigkeit rasch abbauen. In den Dränageelementen besteht praktisch kein oder nur ein sehr geringer Strömungswiderstand und dementsprechend fällt nach einer differentiell kleinen Bewegung des Porenwassers der Porenwasserdruck auf den hydrostatischen Druck im Dränelement ab. Somit kann sich ein Porenwasserdruck in einem mit Dränagen verbesserten Kippenboden schnell genug abbauen, ohne dass es zu einer kritischen Verminderung der wirksamen Spannungen im Korngerüst kommt. Damit wird ein undränierter Zustand in der Kippe vermieden. Die Dränagen stellen somit eine Barriere gegenüber einem sich ausbreitenden Porenwasserüberdruck dar und werden deshalb als Porenwasserdruckbarrieren bezeichnet.

Wissenschaftlich wurde die Wirkung von Porenwasserdruckbarrieren in [59] untersucht. Derzeit ist die Wirkung von Porenwasserdruckbarrieren wieder Gegenstand aktueller wissenschaftlicher Untersuchungen. Durch die TU Bergakademie Freiberg wird untersucht, inwieweit sogenannte Dränagestreifen, die in herkömmlicher Weise Anwendung bei der Setzungsbeschleunigung von bindigen Böden finden, auch

eine Wirksamkeit als Porenwasserdruckbarrieren aufweisen. Erste positive Untersuchungsergebnisse liegen dazu bereits vor.

Anwendungsmöglichkeiten solcher Porenwasserdruckbarrieren sind prinzipiell überall im am Knappensee vorhandenen Kippenkörper zu sehen. Da der Aufwand für Herstellung bzw. Einbau von Dränageelementen jedoch sehr groß ist und sich die Anordnung der Einzelelemente in Form von Reihen anbietet, sind Porenwasserdruckbarrieren besonders für Linienbauwerke als Schutzmaßnahme interessant. Mit derartigen Systemen können sich in Richtung von Wegen oder Straßen ausbreitende Porenwasserüberdruckfronten gestoppt und somit verflüssigungsbedingte Verformungen im Bereich bzw. Untergrund der Linienbauwerke unterbunden werden.

An dieser Stelle ist jedoch darauf hinzuweisen, dass bis dato im Braunkohlensanierungsbergbau keine praktischen Ergebnisse und keine praktischen Anwendungen von Porenwasserdruckbarrieren aus Dränageelementen vorliegen. Ein über die Feldversuche hinausgehender praktischer Nachweis der Funktionsfähigkeit steht noch aus.

Eine flächenhafte Anwendung von Porenwasserdruckbarrieren am Knappensee zur Beseitigung der Setzungsfließgefahr bzw. Verflüssigungsgefahr ist aufgrund des noch fehlenden praktischen Nachweises als nicht geeignet einzustufen.
Die gleiche Aussage gilt auch für eine denkbare Anwendung (Sicherung) an Linienbauwerken, wie z. B. Wegen oder Böschungen.

GV3 Herstellung einer ausreichend großen erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbau

Um die Gefährdung gegenüber Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung zu minimieren, kann der Abstand zur Grundwasseroberfläche (erdfeuchte Überdeckung) vergrößert werden. In der Regel erfolgt dies durch Aufschütten von Material auf die vorhandene Kippenoberfläche. Durch die Vergrößerung der erdfeuchten Überdeckung verringern sich die Einträge von äußeren Lasten im Niveau der Grundwasseroberfläche, die z. B. durch ein Befahren der Kippenoberfläche verursacht werden. Dadurch ergibt sich innerhalb des wassergesättigten Lockergesteins ein geringerer Initialeintrag von außen, der durch ein Befahren/Bewirtschaften von Kippenflächen entsteht.

Die Mächtigkeit der erforderlichen erdfeuchten Mindestüberdeckung ist abhängig von der Nutzung der Fläche. Im Leitfaden „Verflüssigungsgrundbruch“ ([24]) werden Empfehlungen zur erdfeuchten Mindestüberdeckung in Abhängigkeit von der Nutzung der unverdichteten Kippen gegeben. Für die Kippenbereiche am Knappensee wurden zur Bewertung der Sicherheit gegenüber Grundbruch infolge Verflüssigung beim Geräteeinsatz auf unverdichteter Kippe umfangreiche Standsicherheitsuntersuchungen durchgeführt ([36]). Hier wurden standortkonkret für unterschiedlich große Verkehrslasten und Einwirkungen erforderliche erdfeuchte Mindestüberdeckungen ermittelt und angegeben.

Für die Beseitigung der Setzungsfließgefahr an den Uferböschungen am Knappensee ist eine Erhöhung der erdfeuchten Überdeckung als alleinige Maßnahme nicht zielführend. Durch Aufschüttmaßnahmen kann die geotechnische Situation in den Uferböschungen nicht verbessert werden und das Risiko für das Eintreten von Setzungsfließereignissen bleibt nach wie vor bestehen.

In Ergänzung zu anderen Maßnahmen zur Sicherung der Uferböschungen können durch Auffüllarbeiten im Böschungshinterland die geotechnischen Verhältnisse verbessert werden. In Abhängigkeit von der Nutzung dieser Bereiche ist eine unterschiedlich große Mächtigkeit der erdfeuchten Überdeckung notwendig.

5.3 Bewertung der untersuchten allgemeinen Sicherungsverfahren-und Ableitung der technologischen Vorzugsvarianten

5.3.1 Ableitung Grundsatzvarianten

Mit der Bewertung der untersuchten Sicherungsverfahren und Varianten werden die Ergebnisse der Variantenaufzählung des Kapitels 5.2 zusammengestellt und deren Eignung zusammenfassend dargelegt. Eine Bewertung der grundsätzlichen Eignung der Einzelvarianten für die Anwendung als Sicherungstechnologie am Knappensee erfolgt dabei nur in genereller Form.

Tabelle 6: Ergebnis der Prüfung der grundlegenden Geeignetheit der Sicherungsvarianten

Nr.	Variante	Einschränkung	Zielerreichung*	Verhältnismäßigkeit (Bewertung allgemein)*	Anwendbarkeit für Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee
1	Großräumiges Absenken des Kippenwasserspiegels	-	nein	nein	nein
2	Herstellen eines Versteckten Dammes mittels				
a	Rütteldruckverdichtung (RDV)	FKA < 15% oberflächennah LRV	ja	ja	ja
b	Müller-Resonance-Compaction (MRC)	Verdichtungstiefen < 15 m	ja	ja	beschränkt
c	Rüttelstopfverdichtung (RSV)	-	ja	ja	ja
d	Sprengverdichtung (SPV)	Erschütterungseinwirkung auf Gebäude	bedingt	ja	beschränkt
e	Fallgewichtsverdichtung (FGV)	Tiefenwirkung begrenzt, Erschütterungseinwirkung auf Gebäude	bedingt	ja	beschränkt
f	Impulsverdichtung	Verdichtungstiefen < 7 m	ja	ja	beschränkt
3	Verdichten mittels Luft-Impuls-Verfahren	Ausreichende Erfahrungen in der Umsetzung fehlen	möglich	ja	nein
4	Flächenhaftes Verdichten mittels SPV	Starke Schädigungen der Geländeoberfläche	nein	nein	nein
5	Sicherung mittels Injektionen	nur für kleinere Teilbereiche wirtschaftlich (wie Gebäudesicherungen)	ja	bedingt	beschränkt
6	Sperrung des Sees und der Kippenflächen	-	nein	nein	nein
7	Sperrung von Teilflächen	-	nein	ja	nein
8	Verfüllung des Sees	-	nein	nein	nein
9	Aushub der Kippenmaterialien	nur für kleinere Flächen wirtschaftlich	ja	bedingt	beschränkt
GV1	Absenkung des Kippenwasserspiegels	siehe Nr. 1	siehe Nr. 1	siehe Nr. 1	siehe Nr. 1
GV2	Einsatz von Dränagen	Nur für Linienbauwerke, kein praktischer Nachweis	bedingt	bedingt	beschränkt
GV3	Herstellung einer ausreichend großen erdfeuchten Überdeckung	-	ja**	ja	beschränkt

* allgemeine und grundlegende Bewertung (bzgl. Kapitel 4), ** entspricht Sicherung nach aktuellem Kenntnisstand – laufende Forschungen lassen Präzisierungen hierzu noch erwarten

Eine Detailuntersuchung möglich nutzbarer Varianten erfolgt in den Kapiteln zur speziellen Alternativenprüfung. Anhand der Bewertung zur prinzipiellen Anwendbarkeit der unterschiedlichen Technologien und unter Berücksichtigung der Sicherungszielstellung für den Knappensee werden dann mögliche Sicherungsvarianten für die einzelnen Uferbereiche abgeleitet. Aus dem Kapitel 5.2 ergeben sich für die Sicherungsvarianten die in Tabelle 6 ersichtlichen grundsätzliche Eignungen.

In Tabelle 6ist die Bewertung der untersuchten Sicherungsvarianten bezüglich der grundlegenden Geeignetheit ersichtlich. Für die Grundsatzvariante der Sicherung wird nach wie vor die Herstellung eines Versteckten Dammes abgeleitet.

Die aufgeführten Alternativvarianten (umfassende Grundsatzvarianten) scheiden für eine flächendeckende Sicherung aus Gründen der fehlenden Zielerreichung als auch der ersichtlichen Unverhältnismäßigkeit gegenüber der Erstellung eines Versteckten Dammes aus. Weiterführend ist aus der Technologiebetrachtung abzuleiten, dass Verfahren, für die keine ausreichende Anwendungserfahrung in Bezug auf die Sicherung von Kippenbereichen vorliegt, aus Gründen der Verhältnismäßigkeit ebenfalls ausscheiden müssen. Aufgrund der Vielzahl von Betroffenheiten Dritter sind Verfahren zu betrachten, die planerisch als auch in der Umsetzung klar definierte Abläufe erwarten lassen. Alternative Verfahren für die dies nicht der Fall ist, sind mit einem hohen zeitlichen Risiko in Verbindung mit notwendigen technologischen Anpassungen behaftet. Folglich ist die Verhältnismäßigkeit gegenüber den Betroffenen für diese Technologien dann nicht ausreichend prüfbar.

Es gilt die Anforderung: Für die Minimierung der Betroffenheiten muss das Vorzugsverfahren in möglichst kurzen beziehungsweise abgrenzbaren Zeiträumen umsetzbar sein (ohne zeitaufwendige Kalibrierung). Die technologische Beherrschbarkeit und Flexibilität verbunden mit einem entsprechenden Erfahrungsschatz des Einsatzes sollte für eine Umsetzung ohne Testfeld zwingend gegeben sein.

Die Herstellung der Versteckten Dämme kann see- und landseitig erfolgen. Die Rütteldruckverdichtung ist das Standardverfahren für die Herstellung von Versteckten Dämmen in Kippenbereichen. In Bodenmaterialien mit höheren Feinkornanteilen, in denen die RDV nicht einsetzbar ist, ist die Rüttelstopfverdichtung als ein weiteres Standardverfahren zu betrachten.

Weiterführend sind in Tabelle 9 Varianten wie Verdichten mittels MRC, SPV, FGV, Sicherung mittels Injektionen, Aushub von Kippenmaterialien als beschränkt anwendbar für die Gefahrenabwehrmaßnahmen aufgeführt. Diese stellen je nach Randbedingungen mögliche Alternativvarianten in Teilbereichen der erforderlichen Sicherungsmaßnahmen dar und werden, falls sie für die Zielerreichung und Prüfung der Verhältnismäßigkeit anwendbar sind, in den speziellen Alternativenprüfungen berücksichtigt.

Als Ergebnis der Ableitung der **Grundsatzvariante** steht für die **Ufersicherung** die **Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV** im Betrachtungsmittelpunkt.

Für **lokale Bereiche** mit speziellen Anforderungen an die Randbedingungen ist alternativ der Einsatz von **MRC, SPV, FGV, Injektionen und Aushub der gefährdeten Kippenmaterialien** zu überprüfen.

5.3.2 Ableitung der abschnittsbezogenen speziellen Alternativvarianten

In folgender Tabelle werden die planerisch vorgesehenen Varianten und die möglichen Alternativvarianten für die spezielle Alternativenprüfung aufgezeigt.

Tabelle 7: Ableitung von Alternativvarianten für die zu untersuchenden Uferbereiche

Abschnitt(e)	Planungsstand (Variante 1 der bereichsbezogenen Prüfungen)	Alternativvarianten (Varianten 2, 3 …)
G, S, T	Variante 1: Genehmigungsplanung: seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV, Herstellung Trittsicherheit (LRV), Profilierung Hinterland / Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbautechnik	Variante 2: landseitige Herstellung des Versteckten Dammes
U	Variante 1: Genehmigungsplanung: seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV, Herstellung Trittsicherheit (LRV), landseitige Profilierung mittels Erdbautechnik (inkl. Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung)	Variante 2: landseitige Herstellung des Versteckten Dammes, und Vorfeldsicherung mittels sSPV Variante 3: landseitige Herstellung des Versteckten Dammes, und Vorfeldsicherung mittels RDV Variante 4: landseitige Herstellung des Versteckten Dammes, und Vorfeldsicherung mittels RDV, kein seeseitiger Abtrag
D Ost	Variante 1: Genehmigungsplanung: seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV, Sicherung des Koblenzer Grabens landseitig mittels RSV, Herstellung Trittsicherheit (LRV), Profilierung Hinterland / Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbautechnik	Variante 2: landseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV und RSV, Vorfeldsicherung / Herstellung Trittsicherheit mittels LRV
D Mitte	Variante 1: Verifizierung der Vorplanung unter Berücksichtigung der Erkundungsergebnisse 2013: seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV und LRV, Profilierung Hinterland / Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbautechnik	Variante 2: Aushub der verflüssigungsgefährdeten Kippenmaterialien
D West	Variante 1: Vorplanung: seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV, Herstellung Trittsicherheit (LRV), Profilierung Hinterland / Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbautechnik	Variante 2: landseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV, Vorfeldsicherung / Herstellung Trittsicherheit mittels LRV, Profilierung Hinterland / Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbautechnik Variante 3: landseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV mit landseitiger Profilierung, Profilierung Hinterland / Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbautechnik
A und B Nord	Variante 1: Ausführungsplanung: seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV, Herstellung Trittsicherheit (LRV), Profilierung Hinterland / Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbautechnik	Variante 2: seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes (verkürzt) und Abtrag der Kippenböden im nördlichen und südlichen Bereich des Abschnittes
B Süd	Variante 1: Vorplanung: landseitige Profilierung mittels Erdbautechnik (inkl. Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung)	

Für den zu sichernden Hinterlandbereich F werden die Ergebnisse der vorliegenden Vorplanung aufgezeigt.

6 Bereichsweise Alternativenprüfung

6.1 Grundlagen und Randbedingungen der Alternativenprüfung

6.1.1 Allgemein

In den folgenden Kapiteln sind die bereichsbezogenen Alternativenprüfungen ersichtlich. Die Varianten sind derart geordnet, dass die Variante 1 immer der aktuell geplanten und die folgenden Varianten der möglichen Alternativen entsprechen (siehe Tabelle 7).

Für die Gewährleistung der Übersichtlichkeit der Einzelvarianten ist jede bereichsbezogene Prüfung in folgende Punkte gegliedert:

- Variantenbeschreibung (Geländeprofilierung, Standsicherheitsverhältnisse),
- Technologische Umsetzung,
- Leistungen (Mengengerüst),
- Randbedingungen,
- Vorteile,
- Nachteile,
- Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten),
- Kosten.

Die Grundlagen für die Untersuchung von möglichen Alternativvarianten bilden die Ergebnisse der allgemeinen Prüfung der Anwendung von Sicherungs- und Sanierungsvarianten am Knappensee (Kapitel 5.2).

Entsprechend der Aufgabenstellung zur Untersuchung der Geeignetheit der Gefahrenabwehrmaßnahmen [5] erfolgt die Prüfung von Alternativvarianten für die am Knappensee vorhandenen Uferbereiche (A, B Nord, U, T, S, G, D Ost, D Mitte, D West).

Für den Bereich B Süd wird ein Abtrag der lockeren Kippenmassen geplant. Eine sinnvolle Alternativvariante hierzu existiert nicht. Der Umfang der erforderlichen Sicherungsarbeiten ergibt sich aus den letztendlich festgelegten Vorzugsvarianten der angrenzenden Bereiche D West und B Nord. Als Grundlage für die Kostenschätzung dieses Abschnittes wird der Stand der Vorplanung berücksichtigt.

Zur Vollständigkeit der Betrachtung Gefahrenabwehr wird in Kapitel 6.8 der vorgesehene Planungsstand ([13]) des Hinterlandbereiches F aufgeführt.

6.1.2 Speicherbewirtschaftung Knappenrode

Die gefährdungsfreie Nutzung des Restloches Knappensees als Wasserspeicher und wasserwirtschaftliche Anlage stellt, wie in Kapitel 4 definiert, ein wesentliches Sicherungsziel der Gefahrenabwehrmaßnahmen dar.

In Kapitel 5.2 der Untersuchung von Grundsatzvarianten wurde nachgewiesen, dass die Varianten, die die Speicherfunktionen einschränken (wie Absenken des Kippenwasserspiegels oder Verfüllen des Sees) als Sicherungsvarianten nicht umsetzbar sind.

Entsprechend der speicherwirtschaftlichen Funktion des Sees und dem damit verbundenen Stauregime gelten folgende Wasserspiegeldefinitionen als Grundlage der weiteren Betrachtung der speziellen Alternativenprüfungen:

- höchstes Stauziel (Hochwasser Z_H) +126,00 m NHN,
- obere Seewasserspiegelbegrenzung (Stauziel Z_S) +125,50 m NHN,
- untere Seewasserspiegelbegrenzung im Betriebszustand, Absenkziel Z_A, Oktober bis Mai: +124,20 m NHN,
- untere Seewasserspiegelbegrenzung im Betriebszustand, Absenkziel Z_A, Juni bis September: +124,50 m NHN.

Änderungen in diesen verbindlichen Definitionen der Wasserspiegel haben maßgebliche Auswirkungen auf:

- Art und Umfang der möglichen Varianten der Gefahrenabwehr,
- Mengen- und Kosten der Gefahrenabwehrmaßnahmen.

6.1.3 Standsicherheitsuntersuchungen

Berechnungen

Der Nachweis der Standsicherheit der Böschungen am Knappensee für die Lastfälle Böschungsversagen infolge Verflüssigung und Geländeeinbrüche infolge Verflüssigung erfolgt unter Berücksichtigung der Vorgaben und Empfehlungen der Sächsischen Bergverordnung vom 16.07.2009 [35] mit dem § 8 Geotechnische Sicherheit, der Anlage 1 (Anforderungen an die geotechnische Sicherheit) und den Merkblättern „Böschungen im Lockergestein“ und „Rahmengliederung Standsicherheitsberechnungen“. Die bodenmechanischen Grundprinzipien der Richtlinie Geotechnik des Sächsischen Oberbergamtes [49] finden in [35] ihre fachliche Fortsetzung. Entsprechend den Vorgaben dieser Verordnungen und Merkblätter [35], [49] sind vom Sachverständigen für Geotechnik das anzuwendende Berechnungsverfahren sowie die erforderlichen Sicherheitsfaktoren festzulegen und zu begründen.

Vom Sachverständigen wird festgelegt, dass für die Berechnungen das globale Sicherheitskonzept (DIN 4084 und DIN 1054) angewendet wird. Die Böschungsbruchberechnungen werden mit klassischen Lamellenverfahren durchgeführt.

Erforderliche Sicherheitsgrößen

Für die Festlegung des erforderlichen Standsicherheitsniveaus müssen sowohl

- die Güte der Eingangsdaten (Geologie, Hydrogeologie, Materialparameter, Lasten),
- die Standzeiten der Böschungen und
- die möglichen Gefährdungen

Beachtung finden.

Darauf basierend werden die Sicherheiten festgelegt. Der erforderliche Sicherheitskoeffizient beträgt bei der Anwendung eines Lamellenverfahrens nach DIN 4084 unter Berücksichtigung des Lastfalls 1 nach DIN 1054 (ständige Lasten und regelmäßig auftretende Lasten) $\eta = 1{,}4$.

Folgende Gesamtsicherheitsbeiwerte sind bei der Anwendung eines Lamellenverfahrens nachzuweisen:

im **Endzustand**:

- für den statischen Fall im Endzustand, (DIN 4084, DIN 1054-1076, Lastfall 1)
  $\eta_1 \geq 1{,}4$

- für den Fall einer Bodenverflüssigung im Endzustand, (DIN 4084, DIN 1054-1076, Lastfall 3, außergewöhnliche Kombination)
  $\eta_2 \geq 1{,}2$

Für den **Bauzustand** ist für die Böschung und den Technikeinsatz ein Mindestsicherheitsbeiwert im statischen Fall von

- $\eta_B \geq 1{,}2$

rechnerisch nachzuweisen.

Kennwerte

Unter Berücksichtigung der bisher durchgeführten Labor- und Felduntersuchungen, die den aktuellen Kenntnisstand bezüglich des vorhandenen Parameterspektrums kennzeichnen, werden für die Standsicherheitsberechnungen der Alternativenprüfung die Rechenwerte der Tabelle 8 angesetzt. Die Werte entsprechen dabei den Rechenwerten der vorliegenden Planungsteile.

Tabelle 8: In den Standsicherheitsberechnungen angesetzte Rechenwerte für die Böden

Nr.	Material	Kenngröße	Zeichen	ME	Wert
1	Kippe unverdichtet, über dem Grundwasserspiegel	wirksamer Reibungswinkel	cal φ‘	°	33,0
		Kohäsion	cal c‘	kN/m²	2,5
		Wichte	cal γ	kN/m³	16,5
2	Kippe unverdichtet, unter dem Grundwasserspiegel, Verflüssigung durch Initialeintrag	Reibungswinkel *[1]	cal φ	°	3,7
		Kohäsion	cal c‘	kN/m²	0,0
		Wichte (unter Auftrieb)	cal γ’	kN/m³	9,0
3	Kippe verdichtet, unter dem Grundwasserspiegel	wirksamer Reibungswinkel	cal φ‘	°	30,0
		Kohäsion	cal c	kN/m²	0,0
		Wichte	cal γ’	kN/m³	9,5
4	Kippe verdichtet, über dem Grundwasserspiegel	wirksamer Reibungswinkel	cal φ‘	°	34,0
		wirksame Kohäsion	cal c	kN/m²	2,5
		Wichte	cal γ	kN/m³	17,5
5	Gewachsener Boden	wirksamer Reibungswinkel	cal φ‘	°	30,0
		wirksame Kohäsion	cal c	kN/m²	5,0
		Wichte	cal γ	kN/m³	20,0
		Wichte (unter Auftrieb)	cal γ’	kN/m³	10,0

*[1] Der Rechenwert cal φ entspricht der undränierten Restfestigkeit $\varphi_{u,R}$

Erdbeben

Gemäß der DIN 4149 und der darin dargestellten Erdbebenzonenkarte für Deutschland liegt das Untersuchungsgebiet außerhalb einer Erdbebenzone. Demnach ist im Untersuchungsgebiet nicht mit Erdbeben zu rechnen.

Bei der Dimensionierung der Sicherungsvarianten wird mit dem Berechnungsfall „Verflüssigung der wassergesättigten unverdichteten Kippe“ im bodenmechanischen Modell und dem Ansatz undränierter Scherparameter für den gesamten wassergesättigten Bereich der Kippenböden der Lastfall „Verflüssigung infolge seismischer Anregung“ mit erfasst.

Grundbruchsicherheit

Für die Bewertung der Grundbruchsicherheit bei Geräteeinsatz liegen umfangreiche Standsicherheitsuntersuchungen vor [36]. Aus diesen lassen sich die in Tabelle 9 angegebenen erforderlichen erdfeuchten Überdeckungen $h_{erdf.,erf.}$ in Abhängigkeit von der Größe der Verkehrslast abschätzen. Diese Mindestanforderungen stellen neben der daraus abzuleitenden Grundbruchsicherheit für den Endzustand ebenfalls die technologischen Anforderungen für die Umsetzung der Gefahrenabwehrmaßnahmen dar.

Tabelle 9: Ergebnisse von Standsicherheitsberechnungen zur Ermittlung erforderlicher erdfeuchter Überdeckungen $h_{erdf.,erf.}$ bei unterschiedlich großen Verkehrslasten (Berechnungen mittels SLOPE/W)

Flächenersatzlast p´ [kN/m²]	**erforderliche erdfeuchte Überdeckung $h_{erdf.,erf.}$ [m] für $\eta_{erf.} \geq 1{,}3$**
Breite des Lasteintrages 3 m (Einsatzgewicht verteilt auf 3 m x 6 m)	
6,0 (Einsatzmasse 10 t)	$\geq$ 1,5
11,5 (Einsatzmasse 20 t)	$\geq$ 2,0
16,7 (Einsatzmasse 30 t)	$\geq$ 2,0
30,0 (Einsatzmasse 50 t)	$\geq$ 3,0
Breite des Lasteintrages 2 x 1 m (Einsatzmasse verteilt auf 2 x 1 m x 3 m)	
100,0 (Einsatzmasse 60 t)	$\geq$ 3,0

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass aufgrund der seit 2009 vermehrt in anderen Sanierungsgebieten der Lausitz aufgetretenen Geländeeinbrüche infolge Verflüssigung, zur Zeit im Auftrag von LMBV mbH und VE-M, zusätzliche wissenschaftliche Untersuchungen zur Problematik von Verflüssigungsvorgängen auf Innenkippenflächen durchgeführt werden. Mit dem Vorliegen der Ergebnisse dieser wissenschaftlichen Untersuchungen (Geotechnischer Beirat der LMBV mbH, TU Bergakademie Freiberg) ist mittelfristig zu rechnen. Nach Abschluss dieser Arbeiten ist ein geotechnischer Erkenntniszuwachs zu erwarten, der zu Änderungen bzw. Anpassungen des derzeitigen Standes der Technik führen kann.

6.1.4 Hydrodynamische Stabilität der Uferzone

In den vorliegenden Planungsteilen wurden die erforderlichen bereichsweisen Strandneigungen ermittelt. Diese stellen für die Alternativenprüfung die Mindestanforderung dar.

Um Kliffbildungen an den neu gestalteten Uferböschungen zu vermeiden, wird die obere Grenze der zu profilierenden Uferzone unter Berücksichtigung der signifikanten Wellenhöhe sowie folgender Daten definiert:

- Bemessungswasserstand Höchststau (Stauziel Z_S): +125,5 m NHN,
- Höhe Klifffuß h_K 0,05 m bis 0,19 m,
- Sicherheitszuschlag: 0,3 m,

  $\Rightarrow$ obere Begrenzung der herzustellenden Ausgleichsneigung bzw. der Ufersicherung: +126,0 m NHN.

Tabelle 10: Bereichsbezogene Mindeststrandneigungen

Abschnitt	Profil	Mindeststrandneigung	Quelle
U	0+136 0+258 0+425	1 : 15 1 : 15 1 : 15	[17]
G	-	1 : 17,8	[9]
S	-	1 : 15	[10]
T	-	1 : 15	[11]
D Ost	2+775 2+975 3+276	1 : 17,0 1 : 17,0 1 : 15,4	[16]
D Mitte	3+909	1 : 15	Planungsstand 2012
D West	4+591 5+263	1 : 15 1 : 15	Planungsstand 2012
A	6+927 7+094	1 : 14* 1 : 14*	[34]
B	6+475	1 : 5	[34]

* kann aufgrund der geometrischen Gegebenheiten nicht hergestellt werden, deshalb ist für den gesamten Bereich ein ingenieurbiologischer Verbau (Schilfstreifen) vorgesehen

Das gleichzeitige Auftreten einer Situation mit maximalem Wellenschlag bei einem Einstau des Speicherbeckens im Niveau oder nahe des höchsten Stauziels (Z_H = +126,0 m NHN) ist mit einer geringen Wiederkehrwahrscheinlichkeit einzustufen. Eine vollständige Bemessung der Uferböschung auf diesen Belastungsfall ist daher kritisch zu hinterfragen. Vielmehr wird es als ausreichend erachtet, die Oberkante des Uferprofils im Höhenniveau des höchsten Stauziels Z_H festzulegen.

Sollte diese ungünstige Konstellation, d. h. eine Überlagerung eines Hochwassereinstaus mit dem Auftreten maximaler Wellenhöhen auftreten, so sind Schäden am Übergang der Ausgleichsböschungsneigung und der daran anschließenden mit 1 : 3 geneigten Böschung möglich.

Für Böschungs- / Uferabschnitte, in denen dennoch mit Schädigungen zu rechnen ist, wird zusätzlich ein ingenieurbiologischer Verbau (Schilfstreifen; orientierend am derzeit vorhandenen Schilfbewuchs) zur Erosionssicherung berücksichtigt.

6.1.5 Maßnahmen zum Schutz von Personen und Objekten

Während der Sicherungsarbeiten bzw. bis zu deren Abschluss sind die Kippenbereiche innerhalb der Sicherheitslinie als bzgl. Verflüssigungsprozessen und Setzungsfließrutschungen gefährdetes Gebiet zu betrachten.

Bei allen Sicherungsverfahren ist für diese Kippenabschnitte ein Sperrbereich einzurichten, mit dem ein Betreten durch Personen verhindert wird. Die Sperrbereichsgrenze gilt dabei als eine öffentlichkeitswirksame Absperrung und umschließt den Sperrbereich. Für alle nicht an den Sicherungsarbeiten beteiligten bzw. nicht belehrten Personen (Unbefugte) ist ein Aufenthalt innerhalb der Sperrbereichsgrenze untersagt. Dies gilt sinngemäß auch für das Abstellen und Betreiben von Fahrzeugen und Geräten. Für zeitlich begrenzte Zwecke bzw. Maßnahmen werden temporäre Sperrbereichsgrenzen festgelegt.

Im Sperrbereich befindliche Personen, Tiere, baulichen Anlagen und Wertgegenstände sind durch Setzungsfließrutschungen gefährdet. Für alle ortsfesten baulichen Anlagen sind Wertgutachten zu erstellen. Je nach Sicherungsvariante sind baubegleitende Mess- und Beweissicherungsmaßnahmen durchzuführen.

Alle Sachgüter, Wertgegenstände, bewegliche baulichen Anlagen etc. sind für den Zeitraum der Durchführung der Gefahrenabwehrmaßnahmen aus dem geotechnischen Sperrbereich zu entfernen. Gleiches gilt für potentiell umwelt- bzw. wassergefährdende Stoffe.

Während der Sicherungsarbeiten dürfen die im Sperrbereich befindlichen Gebäude nicht durch Personen genutzt oder betreten werden. Als Wohnsitz genutzte Häuser sind für den Zeitraum der Rüttel- und Erdbauarbeiten freizuziehen.

Im Sperrbereich vorhandene Versorgungs- und Medienleitungen sind während der Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zu sichern und/oder vor Beginn der Maßnahme zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit entsprechend zu verlegen.

6.1.6 Kosten

Grundlage für die Alternativenprüfungen bilden die vorliegenden Planungsteile. Die bereichsbezogenen Planungen liegen dabei in Form von Vorplanungen, Entwurfsplanungen, Genehmigungsplanungen bis hin zu Ausführungsplanungen vor. So unterscheiden sich die bereichsweisen Planungen in ihrer Planungstiefe.

Für die Variantenbetrachtungen werden vordergründig die für einzelne Bereiche bereits vorliegenden Entwurfs- und Genehmigungsplanungen herangezogen. In Bereichen, in denen diese noch nicht vorliegen, erfolgt die Betrachtung auf Grundlage der Vorplanung.

Die planerische Ableitung von Alternativen entspricht in ihrer Tiefe dem Charakter einer Vorplanung. Zur Schaffung der Basis der Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Planungstiefen erfolgt in der Kostenschätzung bei allen Varianten in Vorplanungstiefe ein pauschaler Aufschlag für Unwägbarkeiten von XXX auf alle technischen Leistungen (außer Leistungen der Mediensicherung und Entschädigungen). Für Bereiche, in denen die Entwurfs- und Genehmigungsplanung im Vorentwurf vorliegt, jedoch die TÖB-Beteiligung noch nicht abgeschlossen ist, wird auf die technischen Leistungen ein pauschaler Aufschlag von XXX eingerechnet, um die Vergleichbarkeit zu Bereichen mit einem weiter fortgeschrittenem Planungsstand zu ermöglichen. Für die in wesentlichen Abschnitten bereits in der Ausführungsplanung befindliche Variante 1 der Sicherung der Bereiche G, S und T (seeseitige Herstellung eines RDV-Dammes) wird ein dementsprechend geringer pauschaler Aufschlag von XXX berücksichtigt. Die hier berücksichtigten Pauschalen beinhalten jedoch nicht mögliche zusätzliche Aufwendungen, die im Fall eines unplanmäßigen geotechnischen Ereignisses (Rutschung) im Zuge der Sicherungsarbeiten eintreten können und nicht quantifizierbar sind.

Zur klaren Strukturierung und Vergleichbarkeit in der Variantenbetrachtung werden nur die rein bereichsbezogenen Kosten in der Schätzung erfasst.

Weiterführend ist anzumerken, dass für die Planung der Gefahrenabwehrmaßnahmen kein bestätigtes Nachnutzungskonzept vorliegt. Entsprechend beschränkt sich die Position Rekultivierung der Kostenschätzung nur auf die reine Sicherung.

In Abstimmung mit dem SächsOBA und der LMBV mbH wird für Bereiche, in denen aufgrund längerer Sperrzeiten keine Nutzung der Bebauung stattfinden kann, ein vollständiger Rückbau und damit einhergehend eine Entschädigung dieser Nutzungen angenommen. Damit sind Risiken, die sich aus einer möglichen irreparablen Beschädigung der Bebauung infolge der durchgeführten Arbeiten und des langen Sperrzeitraums ergeben können, in den Kostenschätzungen der Varianten berücksichtigt.

Für die seeseitige Herstellung des Stützkörpers besteht das technologische Kenntnisdefizit, inwieweit eine Materialzugabe bei der RDV notwendig wird. Erst mit Durchführung eines Testfeldes kann untersucht werden, ob und in welchem Umfang eine Materialzugabe bei der seeseitigen RDV erforderlich wird. Um eine Vergleichbarkeit der Kostenschätzungen der unterschiedlichen Sicherungsvarianten zu ermöglichen, werden bei der seeseitigen RDV eine Materialzugabe und die damit verbundenen Aufwendungen mit eingerechnet. Die Durchführung des Testfeldes ist zu Beginn der Sicherungsphase 1 Teil 2 geplant. Die mit dem Testfeld gewonnenen Erkenntnisse fließen danach in die weitere Sicherungsplanung ein.

6.1.7 Betroffenheiten Dritter

Durch die intensive öffentliche und wirtschaftliche Nutzung der an den Knappensee angrenzenden Kippenflächen (siehe Kapitel 3.1) ergibt sich in der Umsetzung der Gefahrenabwehrmaßnahmen eine hohe Inanspruchnahme Unbeteiligter. So sind durch den mit der Umsetzung der Sicherungsmaßnahmen einzurichtenden Sperrbereich als auch durch technologisch bedingte Auswirkungen die Beeinträchtigungen Dritter ein Bestandteil der Variantenuntersuchung.

Unter Vorgabe und Abstimmung mit der Projektsteuerung und liegenschaftlichen Verfahrensklärung (LMBV mbH) werden folgende Punkte über definierte Kostenpauschalen in der Alternativenprüfung berücksichtigt:

- Erforderlicher Umfang an Beweissicherungsmaßnahmen (inkl. Wertgutachten),
- Entschädigungsmaßnahmen für Nutzungsausfall oder Rückbau,
- Werterhaltungsmaßnahmen an Wohnbebauung und Bungalows.

Folgende Kostenpauschalen werden zur Berücksichtigung der Betroffenheiten Dritter durch die LMBV mbH angenommen:

Tabelle 11: Vorgegebene Kostenpauschalen

Kategorie	Sachverhalt	Kostenpauschale (Annahme)
Entschädigungen	Sperrung Dauerwohnsitz	XXXXXXXX / Jahr Sperrzeit
	Sperrung Bungalow	XXXXXXXX / Jahr Sperrzeit
	Rückbau Dauerwohnsitz	XXXXXXXX / Stk.
	Rückbau Bungalow	XXXXXXXX / Stk.
	Zu holzende Waldflächen	XXXXXXXX / ha
	Gesperrte Waldflächen	XXXXXXXX / ha
	Erdaushub	XXXXXXXX / m³
Gutachten / Sicherung	Wertgutachten	XXXXXXXX / Flurstück
	Beweissicherung	XXXXXXXX / Flurstück
	Objektsicherung	XXXXXXXX / Flurstück

Die definierten Kostenpauschalen sind in der Kostenschätzung entsprechend dem je Variante sich ergebenden Umfang berücksichtigt. Eine Änderung / Fortschreibung der Kostenannahmen aufgrund neuerer Erkenntnisse kann nicht ausgeschlossen werden.

Einen weiteren wesentlichen Schwerpunkt der Betroffenheit Dritter bei der Umsetzung der Gefahrenabwehrmaßnahmen stellen die Auswirkungen auf die innerhalb der einzurichtenden Sperrbereiche vorhandenen Medien dar.

Diese wurden bereichsweise durch das XXXXXXXXXXXX geprüft. Die Ergebnisse der Prüfung und die erforderlichen Maßnahmen der Mediensicherung je Sicherungsvariante sind in Anlage 6 ersichtlich. Die kostenseitigen Auswirkungen sind in den Kostenschätzungen entsprechend berücksichtigt und enthalten.

Weiterführend erfolgt die Bewertung der naturschutzfachlichen Belange und ökologischen Auswirkungen der betrachteten Varianten seitens der XXXXXXXX. Die Ergebnisse der Bewertung sind in Anlage 7 bereichsweise dokumentiert.

6.2 Grundsätzliche Alternativenprüfung – Bereiche G, S und T

6.2.1 Vorbemerkung

Im Zuge der erneuten umfassenden Variantenbetrachtung der im Rahmen der Gefahrenabwehrmaßnahmen möglichen Sicherungstechnologien und -varianten ist auch eine landseitige Variante der Herstellung eines Versteckten Dammes mittels Rütteldruckverdichtung im östlichen Uferbereich des Knappensees (Bereiche G, S und T) zu prüfen. Diese Variante ist der bereits in der Genehmigungsplanung ([9], [10], [11]) vorliegenden seeseitigen Herstellungsvariante des RDV-Dammes gegenüberzustellen und hinsichtlich ihrer Geeignetheit zu beurteilen. Neben den Betroffenheiten von Eigentümern, Pächtern und anderweitigen Nutzern sind auch ökologische Belange und Medienbetroffenheiten zu bewerten.

Im Rahmen der Erstellung der Sanierungskonzeption am Knappensee wurden in [36] bereits die technologischen Rahmenbedingungen einer landseitigen und seeseitigen Sicherung der Uferbereiche am Knappensee betrachtet.

Mit der in dieser Unterlage vorgenommenen geotechnischen Bewertung werden die technologischen Varianten der landseitigen und seeseitigen Erstellung eines RDV-Dammes zusammengefasst und hinsichtlich ihrer Geeignetheit beurteilt.

6.2.2 Sicherungsvariante 1 - Versteckter Damm (seeseitig)

Variantenbeschreibung (Geländeprofilierung, Standsicherheitsverhältnisse)

Die Variante 1 der betrachteten Sicherungsvarianten in den Planungsabschnitten G, S und T stellt die Sicherung mittels Verstecktem Damm in seeseitiger Ausführung dar. Diese Variante beruht auf den vorliegenden Entwurfsplanungen der Bereiche [9], [10] und [11]. Die Entwurfsplanung bildet die entsprechende Grundlage für die Beschreibung und Mengenermittlung. Neuere Erkenntnisse wie die in 2012 geloteten Seebodenhöhen im Bereich T sind berücksichtigt worden.

Für die Sicherung des Uferbereiches mittels seeseitigem Versteckten Damm ist aus statischen Gründen ein 45,0 m (Bereich G) bis 50,0 m (Bereiche S und T) breiter und aus zwei RDV-Teilstützkörpern bestehender Versteckter Damm im Uferbereich erforderlich. Dabei ist der Stützkörper bis zum Kippenliegenden zu verdichten.

Der Dammquerschnitt setzt sich aus einem 20 m breiten ufernahen und einem seeseitigen 15 m breiten RDV-Körper zusammen. Der zwischen den beiden Dammkörpern liegende Zwischenraum von 15 m Breite (10 m im Bereich G) wird nicht mittels RDV verdichtet. Hier wird lediglich ein schwebender Stützkörper in einer Mächtigkeit von 4 m … 5 m hergestellt.

Die RDV schließt den gesamten Kippenbereich bis zum gewachsenen Untergrund ein. Der Zwischenraum sowie der obere Bereich der RDV-Körper werden mittels oberflächennaher Rüttelverdichtung (LRV) ertüchtigt.

Die östliche Böschung des Knappensees weist im vorhandenen Ist-Zustand, für den Lastfall einer vollständigen Verflüssigung der locker gelagerten wassergesättigten Kippenböden, keine ausreichende rechnerische Böschungsstandsicherheit auf. Bei Eintrag eines ausreichend großen Initials besteht für die in der Böschung lagernden wassergesättigten lockeren Kippenmaterialien die Gefahr einer Verflüssigung. Damit einhergehend besteht für alle im Bereich der Kippenböden befindlichen Personen Lebensgefahr und für darin vorhandene Gegenstände und Sachwerte Verlust- bzw. Beschädigungsgefahr.

Mit Herstellung eines Versteckten Dammes kann auch für den Lastfall einer Verflüssigung der vollständig wassergesättigten und locker gelagerten Böden eine ausreichende rechnerische Sicherheit nachgewiesen werden. Ein Ausfließen der Kippenmaterialien wird durch den Damm und die oberflächennahe Verdichtung der abgelagerten Kippenböden wirksam verhindert.

Mit der oberflächennahen Verdichtung wird ein trittsicheres Ufer hergestellt. Zusätzlich zur Ufersicherung soll der ehemals vorhandene Röhrichtstreifen als biologischer Verbau wieder hergestellt werden.

Die im Hinterland vorhandenen Hochkippenböschungen werden in den Bereichen G und S mittels Massenabtrag erdbautechnisch abgeflacht. Im Bereich T erfolgt aus statischen Gründen ein Massenauftrag.

Technologische Umsetzung

Vor Beginn der Verdichtungsarbeiten erfolgt die Entfernung des aufgehenden Bewuchses (Schilfmahd) im Bereich der Verdichtungsflächen (RDV- und LRV-Rütteltrasse). Zusätzlich werden im Bereich der Rüttelflächen die vorhandenen schilfdurchwurzelten Massen abgetragen und aus dem Baubereich entfernt. Dafür sind ein auf einem Ponton installierter Tieflöffelbagger sowie Schuten für den Abtransport der Massen notwendig. Alternativ kann zum Abbaggern dieser Massen auch ein Tieflöffelbagger auf einem Amphibienfahrwerk eingesetzt werden.

Im Anschluss an die Baggerarbeiten erfolgt die Tiefenverdichtung des Versteckten Dammes mittels der Rütteldruckverdichtung (RDV). Das Trägergerät wird auf einem Ponton installiert und die Arbeiten seeseitig ausgeführt. Für das Aufstellen des Trägergerätes (Raupenkran) ist die Einsetzstelle bzw. die Behelfsanlegestelle im Bereich E zu nutzen.

Unter der Beachtung einer möglichen Präzisierung durch die Ergebnisse des RDV-Testfeldes, wird in den Planungsansätzen davon ausgegangen, dass die RDV ohne Massenzugabe erfolgt. Dabei wird vorausgesetzt, dass die lockeren Kippenmassen in ausreichendem Maß dem Rüttelpunkt zufließen werden.

Ist die Tiefenverdichtung vollständig ausgeführt, werden mittels oberflächennaher Rüttelverdichtung (LRV) der obere Stützkörperbereich sowie die landseitig des Dammes anstehenden Kippenböden verdichtet. Die Verdichtung erfolgt sowohl unter der Wasseroberfläche als auch landseitig der Uferlinie. Für die Durchführung der oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) ist amphibische Gerätetechnik, die auf See und Land operieren kann, einzusetzen. Die Verdichtungsarbeiten erfolgen streifen- bzw. segmentweise senkrecht zur Uferlinie. Begonnen wird die Verdichtung am seeseitigen Ende des RDV-Dammes und erfolgt dann fortschreitend in Richtung Ufer.

Die Rüttelelemente/ -einheiten müssen in der Lage sein, durchwurzelte bis stark durchwurzelte (im wesentlichen Schilfwurzelwerk, untergeordnet geringstarkes Baumwurzelwerk) Bodenschichten zu durchdringen und zu verdichten. Vorzugsweise sind hierfür starre Rüttelelemente einzusetzen, wie z. B. Rüttelbohlen, die an Traversen befestigt sind. Mit diesen besteht die Möglichkeit Wurzelwerk zu durchtrennen und damit den darunter befindlichen Boden zu verdichten.

Nach Abschluss der Verdichtungsarbeiten erfolgt eine Profilierung der Uferböschung. Es schließen sich Rekultivierungsarbeiten an. Aufgrund der vorhandenen Böschungsflächen erfolgt eine großflächige Nassansaat. Weiterhin erfolgt eine Wiederaufforstung der geholzten Flächen. Gleichzeitig wird der vormals entlang der Uferlinie vorhandene Schilfgürtel wiederhergestellt.

Die auszuführenden Arbeiten zur seeseitigen Sicherung in den Bereichen G, S und T lassen sich in folgende Teilschritte gliedern:

1. Baufeldberäumung Verdichtungsflächen die innerhalb der Seefläche liegen (Bewuchs: Schilf, Bäume)
2. Vorsondierungen
3. RDV ohne Massenzugabe
4. Nachsondierungen
5. Vorsondierungen (RS)
6. LRV
7. Nachsondierungen (RS)
8. Endprofilierung der Uferfläche
9. Rekultivierung Bewuchs im Bereich der bearbeiteten Flächen (Bäume, Rasen, Schilf)
10. Nach Sicherung der Ufer erfolgen die landseitigen Profilierungsmaßnahmen im Rahmen der Herstellung der Uferböschung
11. Massenauftrag im Bereich T

Im technologischen Ablauf stellt der im Rahmen einer erdbautechnischen Abflachung erforderliche Massenabtrag der Hochkippe in den Bereichen G und S eine Besonderheit des Ablaufes dar. Er ist der seeseitigen RDV zeitlich voranzustellen.

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 12: Mengenaufgliederung Bereich G, S und T Variante 1

Leistung	ME	Menge
Abbruch und Beräumung		
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	ha	6,5
Holzung, Beräumung (maschinell) - Erdbaubereiche	ha	21,0
Beräumung, Rodung	ha	21,0
Beräumung Schilf	ha	4,0
Abbruch baulicher Anlagen	psch	1,0
Erdbau		
Oberbodenabtrag, Zwischenlagerung, einbauen	m³	43.000
Landseitiger Massenabtrag, Hochkippe	m³	307.500
Seeseitig Massen transportieren und einbauen	m³	178.400
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	m³	142.100
Bodenmaterial liefern, verdichtungsfähig, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	m³	357.500

Leistung	ME	Menge
Verdichtungsleistungen		
RDV, seeseitige Ufersicherung Versteckter Damm: Breite 45 bis 50 m, Länge ca. 1.950 m	m³	1.646.000
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 5m	m³	504.000
Rekultivierung		
Rasenansaat	ha	21,0
Aufforstung	ha	9,5

Randbedingungen

Zur Ausführung der seeseitigen Arbeiten ist aus geotechnisch-technologischen Gesichtspunkten ein möglichst hoher Wasserstand im Restlochgewässer zu gewährleisten. Aus planerischer Sicht wird von der Bereitstellung eines Wasserspiegels im Niveau von +125,0 m NHN bis +125,5 m NHN ausgegangen.

Der komplette Kippenbereich in den Abschnitten G, S und T ist während der Sicherungsarbeiten als bzgl. Verflüssigungen und Setzungsfließrutschungen gefährdetes Gebiet einzustufen.

Der uferparallel verlaufende RDV-Damm ist vor Beginn der erforderlichen landseitigen Massenauftragsarbeiten fertig zu stellen.

Während der Ausführung der Arbeiten ist für die Kippenflächen ein Sperrbereich einzurichten. Die Einhaltung von Betretungsverboten des Sperrbereiches ist mit turnusmäßigen Kontrollen durch Sicherungskräfte zu unterstützen. Aktive und passive Absperr- und Sicherungsmaßnahmen sind vorzusehen.

Vor Beginn der Arbeiten sind Beweissicherungsmaßnahmen an Bauwerken, bei denen Schäden durch die Erschütterungen infolge der Rüttelarbeiten nicht ausgeschlossen werden können, zu realisieren (Fotodokumentation, Rissdokumentation und -monitoring).

Die im Sperrbereich befindlichen Gebäude dürfen während der Sicherungsarbeiten (dynamische Kippenstabilisierung und Erdbauarbeiten) nicht durch Personen genutzt oder betreten werden. Die Gebäude sind für den Zeitraum der Sicherungsarbeiten freizuziehen.

Für die Zuführung als auch den Abtransport von Technik und Massen zum See ist die vorhandene Einsetzstelle nördlich von Groß Särchen zu nutzen. Sie stellt die einzige Schnittstelle zwischen See und Land dar.

Im Zuge der Tiefenverdichtung ist der Ponton mittels einer für die auftretenden Kräfte geeigneten und ausreichend dimensionierten Vorrichtung im Seeboden zu verankern bzw. abzustützen. Die Verankerung ist konstruktiv so zu gestalten, dass sie im Fall einer Kippenbewegung an Sollbruchstellen versagt, um eine Gefährdung des gesamten RDV-Gerätekomplexes zu unterbinden.

Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)

Da die Maßnahmen der Gefahrenabwehr im öffentlichen Raum stattfinden, bedingt die Umsetzung der Sicherungsvarianten eine große Auswirkung auf Dritte in Form von:

- Beräumungsarbeiten (Holzung, Rodung, Abriss von Objekten),
- Einschränkung der Nutzung (Sperrung und Nutzungsausfall, Medien),
- Technologisch bedingte Einwirkungen (wie Erschütterungseinträge durch Rütteldruckverdichtungsarbeiten),
- Beeinträchtigung der Flora und Fauna.

Die Ausbreitung der Schwingungen der Rütteldruckverdichtung in die angrenzenden Bereiche kann unter Umständen zu Schäden an baulichen Objekten führen. Im Ergebnis der Betrachtung von Erfahrenswerten der Rütteldruckverdichtung werden folgende Auswirkungen erwartet:

- Schäden an Gebäuden und Objekten, die in einer Entfernung von weniger als 50 m von der Rütteltrasse entfernt sind, werden als wahrscheinlich eingestuft, so lang keine schwingungsreduzierenden Maßnahmen zur Ausführung kommen,
- Schäden an Gebäuden die sich in einer Entfernung von 50 m bis 150 m zur Rütteltrasse befinden, sind nicht auszuschließen, insbesondere bei erschütterungsempfindlichen sowie bau- und gründungstechnisch wenig anspruchsvollen Bauwerken (Medien, Pumpanlagen usw.).

Auf Grundlage dieser Punkte sind für Objekte bis 150 m Entfernung von der Rütteltrasse vor Ausführung Beweissicherungsmaßnahmen (Gebäudesubstanz, Gebäudekonstruktion, bauliche Vorschädigungen usw.) durch Gutachter auszuführen und eine Bewertung des für die Objekte spezifisch zulässigen Schwingungseintrages durchzuführen. Die Auswirkungen der RDV sind mittels einer baubegleitenden Beweissicherung (Setzungs- und Schwingungsmessungen) während der Ausführung zu überwachen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass Objekte, die auf Kippe gegründet sind, durch den Erschütterungseintrag auch nachträglich Setzungen erleiden können.

Tabelle 13: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereiche G, S und T Sicherungsvariante 1

Beräumungsarbeiten	
Holzung	27,5 ha / in 14 Flurstücken
Beräumung (massiv)	Bootsverleih, Toilettengebäude
Beräumung Bungalows und Wohnwagen tlw. umbaut	ca. 16 Stk.
RDV - Einwirkung	
Betroffene Flurstücke Abstand bis 50 m	10 Flurstücke
Betroffene Flurstücke Abstand von 50 m bis 150 m	25 Flurstücke
Beweissicherung an Objekten	ca. 120 Stk. (Wohn- und Freizeitbebauung)
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich (parallel Planungsstand 2012)	je nach Lage 2 bis 3 Jahre
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	Rohrleitungen verdämmen, Trinkwasserleitungen sichern, Schmutzwasserleitungen sichern, Rückbau und Anschlusswiederherstellung der elektrischen Anlagen, Gasversorgung sichern, Rückbau und Wiederherstellung Telekom
Objektsicherung	41 Stk.

Vorteile der Sicherungsvariante

Vorteile einer seeseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes in den Bereichen G, S und T sind:

- Gerätestandsicherheit wird durch schwimmende Technik gewährleistet, so ist die zusätzliche Schaffung sicherer Startpositionen der Gerätetechnik nicht erforderlich,
- Verdichtung überwiegend im wassergesättigten Kippenkörper, damit ist unter Vorbehalt der Ergebnisse eines RDV-Testfeldes von keiner Materialzugabe während des Rüttelvorganges auszugehen,
- geringere Flächeninanspruchnahme RDV-Damm und damit geringere Rüttelvolumina als gegenüber landseitigem Damm,
- Stützkörper liegt überwiegend im Bereich der hydrodynamischen Ausgleichsböschung,
- seeseitige Technik kann bei Havarien bzw. Ereignissen, die eine Sperrung der Arbeitsfront nach sich ziehen, relativ schnell in andere Abschnitte umgesetzt werden und die Arbeiten fortführen,
- geringer Eingriff ins Böschungshinterland bei Profilierungsarbeiten,
- geringe Beeinflussung der landseitigen Kippenflächen im Rahmen der Baufeldfreimachung und Rodungsarbeiten,
- geringer Anteil an Rekultivierungsmaßnahmen.

Nachteile der Sicherungsvariante

Nachteile einer seeseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes Bereichen G, S und T sind:

- hohe logistische Anforderung aufgrund der schwimmenden Technik und Nutzung des Sees als Transportweg,
- ausreichend dimensionierte Einsetzstelle für Geräteeinsetzen und Massenumschlag erforderlich,
- Seewasserspiegel muss während der gesamten Sicherung dieses Abschnittes im Niveau von +125,0 m NHN und +125,5 m NHN gehalten werden - Technikeinsatz ist stark von der Lage des Wasserspiegels abhängig,
- Beeinflussung und Trübung des Seewassers zu erwarten,
- nach Rütteldruckverdichtung und vor seeseitiger oberflächennaher Rüttelverdichtung ist Massenauftrag mit Profilierung erforderlich,
- nur kleines Zeitfenster (nach RDV und vor Massenauftrag für die Nachuntersuchungen des Stützkörpers mittels Drucksondierungen),
- bei Rutschungsereignissen steht für eine landseitige Zuführung von Verfüllungsmassen oder Antransport von Technik keine verdichtete und gesicherte Trasse zur Verfügung,
- erdbautechnische Abflachung der Hochkippe vor Sicherung der Uferabschnitte mittels Versecktem Damm

Kosten

Für die Variante 1 ergeben sich die in folgender Tabelle aufgeführten Kosten für die entsprechenden Hauptschwerpunkte:

Tabelle 14: Kosten (Kostengruppen) Bereiche G, S und T Variante 1

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten (€)**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt)	XXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXX
Erdbau	XXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXXXX)	XXXXXXX
Summe netto	XXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

6.2.3 Sicherungsvariante 2 - Versteckter Damm (landseitig)

Variantenbeschreibung (Geländeprofilierung, Standsicherheitsverhältnisse)

Eine Alternative zur seeseitigen Herstellung eines Stützkörpers in den Bereichen G, S und T bildet dessen landseitige Herstellung. Der landseitig positionierte Stützkörper weist aus statischen Gründen und bei Gewährleistung der erforderlichen Gerätestandsicherheit für die Verdichtungsgeräte mit mindestens 65,0 m Breite gegenüber der seeseitigen Variante 1 eine deutlich größere Dammbreite auf.

Aufgrund der im Hinterland vorhandenen Hochkippenböschungen orientiert sich die Lage des Stützkörpers an deren Fuß. Vor Herstellung der Rütteltrassen ist jedoch aus statischen Gründen eine Abflachung der angrenzenden Hochkippenböschungen vorzusehen.

Bei der Herstellung des landseitigen versteckten Dammes ist eine erdfeuchte Überdeckung für das RDV-Trägergerät von mind. 2,0 m für einen Seewasserspiegel von +125,5 m NHN sicherzustellen. Die Dammtrasse wird nach planerischer Festlegung vorlaufend auf +128,0 m NHN aufgehöht. Im Bereich G und im nördlichen Bereich des Abschnittes T ist aufgrund der nur geringen verfügbaren Fläche die Dammtrasse über die bisherige Uferlinie hinaus zu führen. Die Tiefenverdichtung wird über die gesamte Kippenmächtigkeit bis zum Liegenden der Kippe ausgeführt. An der Stützkörperoberfläche erfolgt eine Nachverdichtung des oberflächennahen Bereiches mittels Vibrationswalze.

Der geplante landseitige Stützkörper ist im Süden an die Ufersicherung des Bereiches D Ost und im Norden des Bereiches U anzupassen.

Ausgehend von der Höhenkote +126,0 m NHN ist die Herstellung der Uferböschung vorwiegend mit einer Neigung von 1:15 geplant, welche gleichzeitig die hydromechanisch erforderliche Ausgleichsneigung für den Uferbereich darstellt und im See bis zum Höhenniveau +122,2 m NHN (entspricht Z_A - 2 m) geführt wird. Die Uferböschung wird mittels oberflächennaher Rüttelverdichtung (LRV) bis in 5 m Tiefe verdichtet. Die weiter seeseitig noch über dem Niveau von +122,2 m NHN vorhandenen Massen werden abgetragen und somit auch für den Niedrigeinstau (Z_A = +124,2 m NHN) eine ausreichende Wassertiefe von 2,0 m sichergestellt.

Beschreibung - Technologische Umsetzung

Aus statischen Gründen sind die östlich an die vorgesehene Dammtrasse angrenzenden Hochkippenböschungen in den Bereichen G und S sowie im nördlichen Teil des Bereiches T erdbautechnisch abzuflachen. Damit werden Erdarbeiten notwendig, die im Vorfeld der RDV durchgeführt werden müssen und ein entsprechend höheres geotechnisches Risiko aufweisen. Der erforderliche Massenabtrag erfolgt ausgehend vom Hinterland. In Vorbereitung des Massenabtrages ist der Bereich zu holzen und zu roden.

Vor Beginn der Verdichtungsarbeiten ist der komplette Bereich der Rütteltrassen von Bewuchs zu räumen. Die vorhandenen Bäume sind zu fällen und zu roden.

Das Fällen von den an der Uferböschung stehenden Bäumen bis einschließlich 20 m ins Hinterland erfolgt manuell und landseitig. Dabei ist zu beachten, dass die Bäume nicht in Richtung See umgelegt werden, so dass dadurch keine Verflüssigungen auslösende Initiale eingetragen werden können. Die sich landseitig anschließenden Holzungsbereiche können unter Beachtung der für den Arbeitszeitraum vorhandenen erdfeuchten Überdeckung zum Teil auch maschinell geholzt und gerodet werden. In der Beräumung und Holzung ist auch die Zuwegung des RDV-Gerätes zwischen Montageplatz und Verdichtungstrasse enthalten.

Der sich seeseitig anschließende Bereich ist auf der Länge der vorgesehenen oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) von Schilf- und Wurzelwerk zu beräumen. Diese Arbeiten sind durch seeseitige Technik wie bei der Variante 1 durchzuführen.

Für die Durchführung der landseitigen RDV ist das Trägergerät am dafür vorgesehenen Platz zu montieren und anschließend zur Startposition zu fahren. Als Startpositionen kommen entweder das südliche (Grenze zu Bereich D Ost) oder das nördliche Ende des Uferabschnittes (Grenze zu Bereich U) in Betracht.

Die Positionierung der Rüttellanze an den jeweiligen Rüttelansatzpunkten erfolgt mittels eines GPS-gesteuerten automatischen Systems. Unter Beachtung der entsprechenden Vorlandbreite befindet sich das Trägergerät ständig auf bereits verdichtetem und gesichertem Untergrund. Während der RDV erfolgt eine Massenzugabe, so dass mittels Radlader den Rüttelbereichen im Vorkopfverfahren (Teleskopradlader) Material aufgetragen wird. Dieser Vorgang dient gleichzeitig zur Schaffung und Profilierung des Planums des Versteckten Dammes. Bei diesem Vorgang wird entsprechend der erforderlichen Breite des Versteckten Dammes im Vorkopfverfahren das Planum in Richtung See erweitert. Alle Massentransporte erfolgen ebenfalls über den bereits verdichteten Damm.

Um Rutschungen vorzubeugen, erfolgt die Ausführung der Rüttelarbeiten in Sicherheitsfahrweise, dies bedeutet, dass in Abhängigkeit von der Verdichtungsteufe Ruhezeiten zum Abklingen von Porenwasserüberdrücken einzuhalten sind. Zusätzlich werden die RDV-Arbeiten messtechnisch (mittels PWD-Messungen) begleitet.

Bei den Arbeiten der Rütteldruckverdichtung werden Erschütterungen und Schwingungen in den Untergrund eingetragen. Objekte, die sich in einem Umkreis von 150 m um die Erregerquelle befinden, sind in die Beweissicherungsmaßnahmen einzubeziehen.

Nach Beendigung der landseitigen RDV ist vom Planum aus das Uferprofil im Bereich der unmittelbaren Uferböschung (1 : 3) zu erstellen. Anschließend erfolgen die oberflächennahe Rüttelverdichtung (LRV) und die Profilierung des seeseitigen Strandbereiches mit amphibischer Technik. Nach Abschluss der Verdichtungsarbeiten ist der Strandbereich im Rahmen einer Feinprofilierung nachzugestalten. Für die Baustellenlogistik der Arbeiten mit seeseitiger und amphibischer Technik ist die Einsetzstelle im Bereich E zu nutzen.

Nach Beendigung der Tiefenverdichtungsarbeiten ist das Planum des Versteckten Dammes auch landseitig oberflächennah mittels Vibrationswalze nachzuverdichten. Nachfolgend ist das Ufer zu profilieren.

Sind alle Verdichtungs- und Erdbauarbeiten abgeschlossen, erfolgen im Nachgang die Rekultivierungsarbeiten.

Für die Qualitätssicherung der Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ist ein Geotechnisches Messprogramm vorzusehen und zu planen.

Die vorstehend beschriebenen auszuführenden Arbeiten zur Herstellung des Versteckten Dammes in den Bereichen G, S und T lassen sich zusammengefasst in folgende Teilschritte gliedern:

1. Holzung, Rodung und erdbautechnische Abflachung der im Hinterland angrenzenden Hochkippenböschungen,
2. Baufeldberäumung im Trassenbereich einschl. manueller Holzung bis 20 m ins Hinterland, ansonsten maschinelle Holzung, Rodung und Schilfschnitt im Trassenbereich des Versteckten Dammes,
3. Herstellung Startaufstellung auf dem Gewachsenen inkl. Beräumung der Startfläche und der Zuführungstrasse zum Stützkörper,
4. Vorsondierungen (Geotechnisches Messprogramm),

5. Landseitiger Massenauftrag/ Profilierungsarbeiten im Vorfeld der RDV, zur Schaffung eines horizontalen Arbeitsplanums für das RDV-Gerät im Bereich der RDV-Trasse mit einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung,

6. Durchführung der RDV (Rütteldruckverdichtung) mit Sicherheitsfahrweise und begleitender Massenzugabe mit Material in geeigneter Qualität und Körnung,

7. Landseitige Ufer- und Böschungsprofilierung,

8. Nachverdichtung des landseitigen Versteckten Dammes mittels Walzenzug,

9. Ausführung der seeseitigen oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) und seeseitiger Massenabtrag zur Herstellung der Trittsicherheit

10. Nachsondierungen (Geotechnisches Messprogramm),

11. Rekultivierung Bewuchs im Bereich der bearbeiteten Flächen (Bäume, Rasen, Schilf).

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 15: Mengenaufgliederung Bereiche G, S und T Variante 2

Leistung	ME	Menge
Abbruch und Beräumung		
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	ha	12,8
Holzung, Beräumung (maschinell) – Erdbaubereiche	ha	32,1
Beräumung, Rodung	ha	32,1
Beräumung Schilf	ha	4,0
Abbruch baulicher Anlagen	Psch.	1,0
Erdbau		
Oberbodenabtrag, Zwischenlagerung, einbauen	m³	54.400
Landseitiger Massenabtrag, Hochkippe	m³	490.000
Bodenmaterial liefern, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	m³	500.000
Seeseitig Massen transportieren und einbauen	m³	81.200
Verdichtungsleistungen		
RDV, landseitige Ufersicherung Versteckter Damm: Breite 65 m, Länge ca. 1950 m	m³	3.620.000
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 5m	m³	325.325
Oberflächennahe landseitige Verdichtung (Vibrationswalze)	m³	128.000
Rekultivierung		
Rasenansaat	ha	32,1
Aufforstung	ha	15,3

Randbedingungen der Sicherungsarbeiten

Zur Gewährleistung des Verdichtungserfolges der landseitigen Verdichtungsarbeiten ist ein möglichst niedriger Wasserspiegelstand anzustreben. Da jedoch parallele Arbeiten stattfinden könnten, die einen möglichst hohen Wasserstand erfordern, steht aus geotechnischer Sicht die Gerätestandsicherheit im Mittelpunkt. Entsprechend den vorhandenen Geländeverhältnissen ist eine Wasserspiegelhöhe von +125,5 m NHN nicht zu überschreiten. Für die Gerätestandsicherheit ist für das Trägergerät auch auf der verdichteten Fahrtrasse eine erdfeuchte Überdeckung von $\geq$ 2,0 m zu gewährleisten. Dies wird mit einer Trassenlage im Niveau +128,0 m NHN gewährleistet.

Der unverdichtete Kippenbereich in den Abschnitten G, S und T ist während der Sicherungsarbeiten als bzgl. Verflüssigungen und Setzungsfließrutschungen gefährdetes Gebiet einzustufen.

Während der Ausführung der Arbeiten ist für die Kippenflächen ein Sperrbereich einzurichten. Die Einhaltung von Betretungsverboten des Sperrbereiches ist mit turnusmäßigen Kontrollen durch Sicherungskräfte zu unterstützen. Aktive und passive Absperr- und Sicherungsmaßnahmen sind vorzusehen.

Vor Beginn der Arbeiten sind Beweissicherungsmaßnahmen an Bauwerken, bei denen Schäden durch die Erschütterungen infolge der Rüttelarbeiten nicht ausgeschlossen werden können, zu realisieren (Fotodokumentation, Rissdokumentation und -monitoring).

Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)

Da die Maßnahmen der Gefahrenabwehr im öffentlichen Raum stattfinden, bedingt die Umsetzung der Sicherungsvarianten eine große Auswirkung auf Dritte in Form von:

- Beräumungsarbeiten (Holzung, Rodung, Abriss von Objekten),
- Einschränkung der Nutzung (Sperrung und Nutzungsausfall, Medien),
- technologisch bedingte Einwirkungen (wie Erschütterungseinträge durch Rütteldruckverdichtungsarbeiten),
- Beeinträchtigung der Flora und Fauna.

Analog der Sicherungsvariante 1 sind vor Ausführung Beweissicherungsmaßnahmen an gefährdeten Objekten (Gebäudesubstanz, Gebäudekonstruktion, bauliche Vorschädigungen usw.) durch Gutachter auszuführen und eine Bewertung des für die Objekte spezifisch zulässigen Schwingungseintrages durchzuführen. Die Auswirkungen der RDV sind während der Ausführung mittels einer baubegleitenden Beweissicherung (Setzungs- und Schwingungsmessungen) zu überwachen.

Die Auswirkungen der Umsetzung der Sicherungsvariante 2 auf Dritte sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 16: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereiche G, S und T Sicherungsvariante 2

Beeinträchtigung	Art und Umfang
Beräumungsarbeiten	
Holzung	44,90 ha / in 17 Flurstücken
Beräumung (massiv)	Bootsverleih, Toilettengebäude
Beräumung Bungalows und Wohnwagen tlw. umbaut	ca. 37 Stk.
RDV - Einwirkung	
Betroffene Flurstücke Abstand bis 50 m	14 Flurstücke
Betroffene Flurstücke Abstand von 50 m bis 150 m	41 Flurstücke
Beweissicherung an Objekten	ca. 120 Stk. (Wohn- und Freizeitbebauung)
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich	je nach Lage ca. 3 bis 5 Jahre
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	Rohrleitungen verdämmen, Trinkwasserleitungen sichern, Schmutzwasserleitungen sichern, Rückbau und Anschlusswiederherstellung der elektrischen Anlagen, Gasversorgung sichern, Rückbau und Wiederherstellung Telekom
Objektsicherung	41 Stk.

Vorteile der Sicherungsvariante

Vorteile einer landseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes in den Bereichen G, S und T sind:

- die landseitige Herstellung des Versteckten Dammes stellt eine Standardtechnologie in der Bergbausanierung dar,
- geringe Beeinflussung der Seewasserqualität während der RDV,
- Massenzuführung und -logistik erfolgt landseitig,
- im Fall einer Rutschung können erforderliche Ausgleichsmassen über die verdichtete Dammtrasse landseitig antransportiert werden
- weitgehende Zeitunabhängigkeit für Qualitätsprüfungen der Verdichtungsleistungen,
- für landseitige Nachprüfungen ist neben der Sondier- und Probenahmetechnik keine zusätzliche Technik erforderlich,
- Schaffung von bebauungsfähigem Untergrund im Bereich der Dammtrasse.

Nachteile der Sicherungsvariante

Nachteile einer landseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes in den Bereichen G, S und T sind:

- umfangreiche Massenzugabe zum Erzielen einer ausreichenden Verdichtung und zum Erhalt des Planumsniveaus notwendig,
- größere erforderliche Dammbreite als bei der seeseitigen Herstellung,
- höhere Zeitdauer der Umsetzung aufgrund technologischer Zwänge,
- vor Ausführung der RDV muss die Trasse vollständig beräumt (Bauwerke, Medien, Bewuchs) werden,
- umfangreiche Holzung und Rodung,
- starke Beeinträchtigung der Fauna und Flora,
- umfangreiche erdbautechnische Abflachung der Hochkippe vor Sicherung der Uferabschnitte mittels Verstecktem Damm.
- hohe Anforderungen an die Tragfähigkeit des Dammkopfes, es kann zusätzliche Verlängerung der Bauzeit resultieren,
- die Ausweichmöglichkeiten bei Havarien sind begrenzt, die vorhandene Technik ist nur bedingt flexibel,
- die Ansatzpunkte und die damit möglichen Bauspitzen beschränken sich auf die sicheren Start-positionen.

Kosten

Tabelle 17: Kosten (Kostengruppen) Bereiche G, S und T Variante 2

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten (€)**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt)	XXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXX
Erdbau	XXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXXXX)	XXXXXXX
Summe netto	XXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

6.2.4 Variantenvergleich

Die beiden untersuchten Varianten der Sicherung des Uferabschnittes der Bereiche G, S und T setzen die erforderliche Gefahrenabwehr mittels Errichtung eines Versteckten Dammes um. Die Erstellung des Dammkörpers erfolgt für beide Varianten mittels Rütteldruckverdichtung.

Die Variante 1 setzt die Herstellung des Dammes vom See aus um, während die Variante 2 die Herstellung von der Landseite aus untersucht und betrachtet.

Die Unterschiede in wesentlichen Leistungspunkten und Kosten zeigt folgende Tabelle:

Tabelle 18: Mengen- und Kostenaufgliederung Bereiche G, S und T Varianten 1 und 2

Leistung	Variante 1		Variante 2	
	Menge	Kosten [€]	Menge	Kosten [€]
Abbruch und Beräumung				
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	6,5 ha	XXXXXXX	12,8 ha	XXXXXXX
Holzung, Beräumung (maschinell) - Erdbaubereiche	21,0 ha	XXXXXXX	32,1 ha	XXXXXXX
Beräumung, Rodung	21,0 ha	XXXXXXX	32,1 ha	XXXXXXX
Beräumung Schilf	4,0 ha	XXXXXXX	4,0 ha	XXXXXXX
Abbruch baulicher Anlagen	psch	XXXXXXX	psch	XXXXXXX
Erdbau				
Landseitiger Massenabtrag, Hochkippe	307.500 m³	XXXXXXX	490.000 m³	XXXXXXX
Seeseitig Massen transportieren und einbauen	178.400 m³	XXXXXXX	81.200 m³	XXXXXXX
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	142.100 m³	XXXXXXX	0 m³	XXXXXXX
Bodenmaterial liefern, verdichtungsfähig, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	357.500 m³	XXXXXXX	500.000 m³	XXXXXXX
Verdichtungsleistungen				
RDV, landseitige Ufersicherung			3.620.000 m³	XXXXXXX
RDV, seeseitige Ufersicherung	1.646.000 m³	XXXXXXX		
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 5m	504.000 m³	XXXXXXX	325.325 m³	XXXXXXX
Oberflächennahe landseitige Verdichtung (Vibrationswalze)	0	XXXXXXX	128.000 m³	XXXXXXX
Rekultivierung				
Summe Rekultivierung	21,0	XXXXXXX	32,1	XXXXXXX
Mediensicherung				
Summe Mediensicherung		XXXXXXX		XXXXXXX
Entschädigungsleistungen				
Summe Entschädigungsleistungen		XXXXXXX		XXXXXXX

Die Gesamtauflistung des Kostenvergleiches für die Bereiche G, S und T ist in Anlage 5 ersichtlich.

Im Vergleich beider Varianten sind wesentliche Unterschiede in den erforderlichen seeseitigen und landseitigen Massenbewegungen zu sehen. Es wird deutlich, dass die seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes starken seeseitigen Massentransportes bedarf. Dieser ist zusätzlich gegenüber der landseitigen Variante risikobehaftet. So können sich neben Massenänderungen auch ablauftechnische Probleme (Stillstände etc.) kostenintensiv auswirken.

Zwar stellt die seeseitige Sicherung komplexe technologische Anforderungen an ihre Umsetzung, jedoch werden die Flächen im Hinterland während der Ausführung in geringerem Maße beansprucht.

Durch den Einsatz schwimmender Technik ist die Sicherheit des RDV-Trägergerätes gegeben. Damit kann der Stützkörper optimierend nach den erdstatischen Erfordernissen dimensioniert werden. Dies reduziert gegenüber der landseitigen Ausführung das Verdichtungsvolumen und damit auch die für die Verdichtungsarbeiten benötigte Bauzeit. Die Verdichtungsgeräte können unmittelbar auf dem Stützkörper ansetzen. Aufstellflächen auf dem Gewachsenen und notwendig werdende Zuführungstrassen entfallen bei der seeseitigen RDV. Das schlägt sich wiederum auf das RDV-Volumen, die benötigte RDV-Zeit und die Betroffenheiten Dritter nieder.

In den Bereichen G, S und T besteht für die landseitige Herstellung des Versteckten Dammes aufgrund der morphologischen Randbedingungen eine Vielzahl technologischer Probleme. Dies betrifft vor allem die Vorbereitung der Dammtrasse. Alle dazu notwendigen Arbeiten (Beräumung, vollständiger Rückbau von baulichen Anlagen, Ebnen der Trasse, Holzung und Rodung etc.) müssen im ungesicherten Bereich mittels Erdbautechnik erfolgen. Die Nähe der Dammtrasse zur Hochkippenböschung ist geotechnisch kritisch einzuschätzen. Hier werden neben den Arbeiten zur Herstellung der Dammtrasse die genannten umfangreichen Abflachungen an der Hochkippenböschung vor Ausführung der RDV notwendig. Durch eine landseitige Lage des Versteckten Dammes erhöhen sich auch die Erschütterungsaus- bzw. Einwirkungen auf das Hinterland. Betroffen sind hierbei vor allem die Feriensiedlung Knappenhütte und der vorgelagerte Zeltplatzbereich.

Infolge des größeren Flächenbedarfs der RDV sowie der Beanspruchung der Absetzerkippen durch größere Abtragsbereiche ergeben sich bei der landseitigen RDV eine höhere Anzahl an betroffenen Dritten (größerer Rückbaubedarf für infrastrukturelle und bauliche Anlagen und Einrichtungen, Holzung, Rodung) und dementsprechend höhere Entschädigungsleistungen.

Als wesentlicher Nachteil der Alternativvariante 2 ist die deutlich längere Bauzeit zu sehen. Sie ergibt sich aus dem notwendigen technologischen Ablauf in den Bereichen G, S, und T, der aus Holzung/Rodung, dem Massenabtrag der Absetzerkippenböschungen, der RDV und der zeitlich nachgelagerten Arbeiten (LRV, see- und landseitige Profilierung) resultiert. Hinsichtlich der zu erwartenden Bauzeiträume schlagen das landseitig höhere RDV-Volumen und die Notwendigkeit der Abarbeitung ausgehend von nur zwei möglichen Startpositionen zu Buche. Die Erhöhung der Sperrzeiten führt zu deutlich höheren Entschädigungsleistungen bei Ausführung der landseitigen Variante.

Bei einer geplanten landseitigen Herstellung der RDV in den Bereichen G, S und T gestaltet sich die Festlegung von Anfangsstellungen der RDV-Trägergeräte sehr kompliziert. Aus Standsicherheitsgründen muss die Startposition der RDV auf dem Gewachsenen liegen oder mit zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen in der Kippe angelegt werden. Die möglichen Anfangsstellungen beschränken sich auf den Parkplatz Koblenzer Strand und den nördlich anschließenden Bereich U.

Die Analyse beider Anfangsstellungen zeigt, dass beträchtliche Einwirkungen auf das bebaute Hinterland zu erwarten sind. Technologische Probleme können hohe Zusatzaufwendungen notwendig werden lassen.

Die einzelnen Leistungen sind zwar bis auf den seeseitigen Massenaushub und die oberflächennahe Rüttelverdichtung ohne Abstimmung der in den anderen Uferbereichen stattfindenden Gefahrenabwehrmaßnahmen ausführbar, eine Startposition der RDV im Bereich U bedingt allerdings die Herstellung des versteckten Dammes diesen Abschnittes bereits in einer früheren Sicherungsphase.

Diese zeitliche Einordnung lässt sich nur mit einer alternativen Startposition im Gewachsenen im Bereich des Parkplatzes nördlich der Siedlung Knappenhütte (nahe Tauchschule) umgehen. Dies wäre mit hohem technologischem Aufwand zur Herstellung der Trassen hinsichtlich des zu überwindenden Gefälles der Trassierung verbunden, würde die Einwirkungsbereiche der Rütteldruckverdichtung erhöhen und somit einen erheblichen zusätzlichen zeitlichen und kostenseitigen Mehraufwand bedeuten.

Weiterhin ist zu beachten, dass mit einer landseitigen Herstellung des RDV-Stützkörpers eine Verlagerung der Uferlinie in Richtung Böschungshinterland einhergehen könnte, was aus genehmigungsrechtlicher Sicht problembehaftet sein kann.

Der wesentliche Kostenunterschied bei der Mediensicherung kommt dadurch zustande, dass bei der landseitigen Herstellung des Versteckten Damms (Variante 2) wesentlich mehr Medienleitungen mit Netzfunktion (regional bedeutsam) aus dem landseitigen Massenabtragsbereich verlegt und anschließend wiederhergestellt werden müssen.

Die Variantenbetrachtung bei der Mediensicherung/ Medienverlegung geht dabei von zwei grundsätzlich unterschiedlichen Herangehensweisen aus.

Bei der seeseitigen Herstellung des Versteckten Damms bleibt die medientechnische Erschließung der Bungalow- bzw. Feriensiedlungen weitestgehend erhalten. Die Medienleitungen verbleiben im Boden werden freigeschalten, gesichert und nach Sanierung wieder in Betrieb genommen.

Bei der landseitigen Herstellung des Versteckten Damms wird der wesentliche Teil der vorhandenen Medienerschließung zerstört. Medienleitungen werden freigeschalten, gesichert und verbleiben im Boden. Rohrleitungen werden verdämmt, Schachtbauwerke verfüllt. Maßnahmen der Wiederherstellung und Erschließung des Areals sind kostenseitig nicht berücksichtigt, da diese erst nach Abschluss der Gefahrenabwehrmaßnahmen und Vorlage der Folgenutzungskonzeption festgelegt werden können.

Berücksichtigt ist bei beiden Varianten die gesicherte medientechnische Erschließung der Feriensiedlung Knappenhütte während der Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee (teilweise temporär) und die anschließende Wiederherstellung.

Auf Grund geotechnischer Gegebenheiten (Kippe) ist eine dauerhafte Verlegung der Medien Gas und Schmutzwasser zur Erschließung der Siedlung Knappenhütte im Straßenraum der Kreisstraße K 9207 und der Straße „An der Knappenhütte“ nicht Bestandteil der Betrachtung.

Bautechnischer Aufwand und Kosten sind nicht abschätzbar. Es ist mit längerfristigen öffentlich- und privatrechtlichen Genehmigungsverfahren für die Verlegung von Medien unterschiedlicher Versorgungsträger außerhalb des Sperrbereichs zu rechnen.

Zusammenfassend zeigt der Kostenvergleich unter Berücksichtigung eines Zuschlages von XXX für die Variante 2 (Vorplanungsniveau) eine Summe von XXXXXXXX gegenüber der Variante 1 (Genehmigungsplanung, abgestimmt mit TÖB) mit XXXXXXXX**.**

Im Ergebnis der Untersuchung wird abgeleitet, dass Variante 1 - die seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes - als wirtschaftlich deutlich günstiger angesehen werden kann. Die Untersuchungen weisen zudem nach, dass die aktuell vorgesehene Reihenfolge der Sicherung im Falle einer landseitigen Herstellung der RDV in den Bereichen G, S und T technologisch nur unter hohem Aufwand durchführbar ist.

6.3 Alternativenprüfung - Bereich A und B Nord

6.3.1 Sicherungsvariante 1 – Versteckter Damm (seeseitig)

Variantenbeschreibung (Geländeprofilierung, Standsicherheitsverhältnisse)

Der Böschungsabschnitt A (inklusive des Teilbereiches B Nord) liegt am Westufer des Knappensees. Die vorhandene Böschung wird aus der ehemaligen Randböschung des Tagebaus Werminghoff I, die in unterschiedlicher Mächtigkeit mit Kippenmaterialien überschüttet wurde, gebildet. Das Abraummaterial wurde in Form einer Handkippe abgelagert und weist eine sehr lockere Lagerung der sandigen Böden auf.

Im direkten Hinterland des Böschungsabschnittes verläuft die Bundesstraße B 96, die auf dem Gewachsenen gründet. Charakterisiert wird der Uferabschnitt durch den parallel zur westlich gelegenen Bundesstraße B 96 verlaufenden Hochwasserschutzdamm. Im nördlichen Bereich des Abschnittes A befindet sich das Auslaufbauwerk der LTV, mit dem eine Regulierung des Stauniveaus im Speicherbecken erfolgt.

Mittels Felduntersuchungen (Sondier-Kampagnen 2008 und 2009) wurden die geotechnischen Verhältnisse im Böschungsbereich des Uferabschnittes A (inklusive dem Teilabschnitt B Nord) erkundet. Die Ergebnisse zeigen, dass in den gekippten Uferbereichen mit locker gelagerten, überwiegend nichtbindigen Böden zu rechnen ist. Die Kippenböden reichen mindestens bis an den restlochseitigen Dammfuß des Maukendorfer Absperrdammes heran bzw. unterlagern sogar den Hochwasserschutzdamm. Sie weisen Mächtigkeiten von 4 m bis 7 m auf. Im Bereich des Auslaufbauwerkes wurden mit den ausgeführten Rammsondierungen der gewachsene Untergrund bzw. eine verdichtete Auffüllung erkundet. In diesem Bereich steht an der Geländeoberfläche ein Sand-Schotter-Gemisch an. Die bestehende Uferböschung ist im Bereich des Auslaufbauwerkes mit einem Wasserbausteinverbau belegt.

Für den Uferabschnitt im Bereich A und B Nord am Knappensee ist, nach dem aktuellen Planungsstand, die seeseitige Herstellung eines Stützkörpers geplant. Der Stützkörper ist als eingliedriger RDV-Körper mit einer Breite von 25 m konzipiert und wird auf dem Kippenliegenden gegründet. In seinem Verlauf orientiert er sich an der Auskohlungsgrenze und liegt damit innerhalb der Wasserfläche. Im Norden endet der Stützkörper am gewachsenen Böschungssystem. Das südliche Ende des erforderlichen Stützkörpers liegt im Bereich des nördlichen Endes der Insel, die gegenüber dem Westufer liegt. Die Oberkante des Stützkörpers wird durch die Seesohle gebildet.

Mittels oberflächennaher Rüttelverdichtung (LRV) erfolgt eine Verdichtung des oberen Stützkörperbereiches. Diese wird bis zum Dammfuß des Maukendorfer Randdammes ausgeführt, so dass die im Böschungsbereich angeschütteten Kippenmaterialien vollständig verdichtet werden.

Eine schematische Darstellung des geplanten RDV-Stützkörpers zeigt das Regelprofil in der nachfolgenden Abbildung 1.

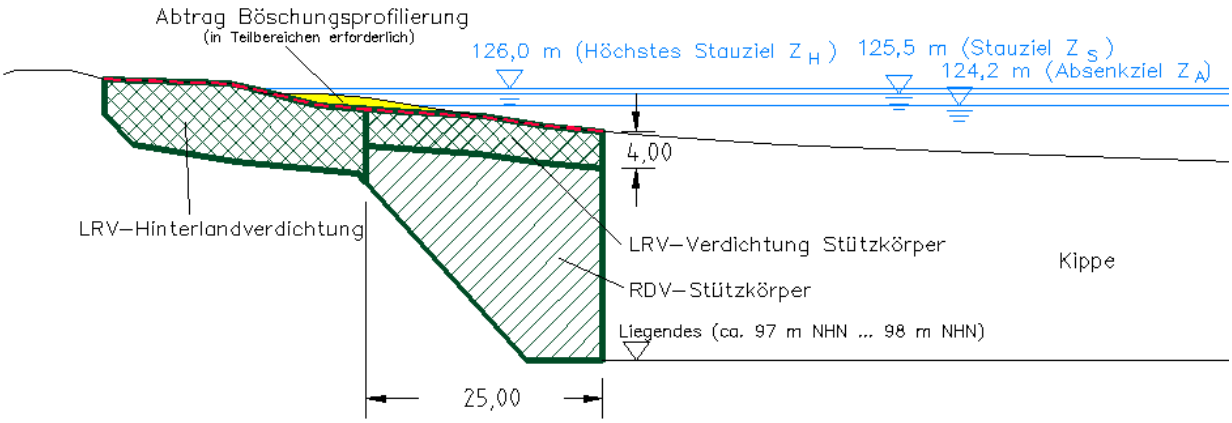

Abbildung 1: Regelprofil Versteckter Damm Bereich A und B Nord – Variante 1

Die westliche Böschung des Knappensees (Bereiches A und B Nord) weist im vorhandenen Ist-Zustand, für den Lastfall einer vollständigen Verflüssigung, keine ausreichende rechnerische Böschungsstandsicherheit auf. Bei Eintrag eines ausreichend großen Initials besteht für die in der Böschung lagernden wassergesättigten lockeren Kippenmaterialien die Gefahr einer Verflüssigung. Damit einhergehend besteht für alle im Bereich der Kippe befindlichen Personen Gefahr für Leib und Leben und für darin vorhandene Gegenstände und Sachwerte Verlust- bzw. Beschädigungsgefahr.

Bei Vorhandensein eines Stützkörpers („Versteckter Damm“) kann auch für den Lastfall einer Verflüssigung der wassergesättigten und locker gelagerten Böden eine ausreichende rechnerische Sicherheit nachgewiesen werden. Ein Ausfließen der Kippenmaterialien wird durch den RDV-Damm und die oberflächennahe Verdichtung (LRV) der abgelagerten Kippenböden wirksam verhindert.

Mit der oberflächennahen Verdichtung wird ein trittsicheres Ufer hergestellt. Zur Ufersicherung soll der Schilf- und Röhrichtstreifen als biologischer Verbau wieder hergestellt werden.

Technologische Umsetzung

Vor Beginn der Verdichtungsarbeiten erfolgt die Entfernung des aufgehenden Bewuchses (Schilfmahd) im Bereich der Verdichtungsflächen (RDV- und LRV-Rütteltrasse). Zusätzlich werden im Bereich der Rüttelflächen die vorhandenen schilfdurchwurzelten Massen abgetragen und aus dem Baubereich entfernt. Dafür sind ein auf einem Ponton installierter Tieflöffelbagger sowie Schuten für den Abtransport der Massen notwendig. Alternativ kann auch zum Abbaggern dieser Massen ein Tieflöffelbagger auf einem Amphibienfahrwerk eingesetzt werden.

Im Anschluss an die Baggerarbeiten erfolgt die Tiefenverdichtung des Versteckten Dammes mittels der Rütteldruckverdichtung (RDV). Das Trägergerät wird auf einem Ponton installiert und die Arbeiten seeseitig ausgeführt. Für das Aufstellen des Trägergerätes (Raupenkran) ist die Einsetzstelle bzw. die Behelfsanlegestelle im Bereich E zu nutzen. Die RDV soll ohne Massenzugabe erfolgen, da der Verdichtungskörper vollständig im wassergesättigten Bereich (unterhalb des Wasserspiegels) liegt. Es wird davon ausgegangen, dass die lockeren Kippenmassen in ausreichendem Maß der Rüttellanze zufließen werden. Dieser angenommene Sachverhalt ist jedoch durch einen den Sicherungsarbeiten vorgelagerten RDV-Test zu verifizieren. Gegebenfalls könnte eine seeseitige Massenzugabe erforderlich werden.

Ist die Tiefenverdichtung vollständig ausgeführt, wird mittels oberflächennaher Rüttelverdichtung (LRV) der obere Stützkörperbereich sowie die landseitig des Dammes anstehenden Kippenböden verdichtet. Die Verdichtung erfolgt sowohl unter der Wasseroberfläche als auch landseitig der Uferlinie. Für die Durchführung der oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) ist amphibische Gerätetechnik, die sowohl auf See als auch auf Land operieren kann, einzusetzen. Die Verdichtungsarbeiten erfolgen streifen- bzw. segmentweise senkrecht zur Uferlinie. Begonnen wird die Verdichtung am seeseitigen Ende des RDV-Dammes und dann fortschreitend in Richtung Ufer.

Die Rüttelelemente/ -einheiten müssen in der Lage sein, durchwurzelte bis stark durchwurzelte (im Wesentlichen Schilfwurzelwerk, untergeordnet geringstarkes Baumwurzelwerk) Bodenschichten zu durchdringen und zu verdichten. Vorzugsweise sind hierfür starre Rüttelelemente einzusetzen, wie z. B. Rüttelbohlen, die an Traversen befestigt sind. Mit diesen besteht die Möglichkeit, Wurzelwerk zu durchtrennen und damit den darunter befindlichen Boden zu verdichten.

Nach Abschluss der Verdichtungsarbeiten erfolgt eine Profilierung der Uferböschung. An diese schließen sich Rekultivierungsarbeiten an. Mit diesen erfolgt eine Wiederaufforstung der geholzten Flächen. Gleichzeitig wird der vormals entlang der Uferlinie vorhandene Schilfgürtel wiederhergestellt.

Die vorstehend ausführlich beschriebenen auszuführenden Arbeiten zur Herstellung des Stützkörpers im nördlichen Teilbereich lassen sich in folgende Teilschritte gliedern:

1. Baufeldberäumung der Verdichtungsflächen, die innerhalb der Seefläche liegen (Bewuchs: Schilf, Bäume),

2. Vorsondierungen,

3. RDV ohne Massenzugabe,

4. Nachsondierungen,

5. Baufeldberäumung der landseitigen LRV-Fläche (Bewuchs: Schilf, Bäume, ggf. Einbauten (Behelfsstege etc.),

6. Vorsondierungen (RS),

7. LRV,

8. Nachsondierungen (RS),

9. Endprofilierung der Uferfläche,

10. Rekultivierung im Bereich der bearbeiteten Flächen (Wiederherstellung Bewuchs: Bäume, Rasen, Schilf).

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 19: Mengenaufgliederung Bereich A und B Nord – Variante 1

Bezeichnung	***Einheit***	***Menge***	***Hinweise***
Leistung: Beräumung und Abbruch			
Schilfmahd	ha	1,0	Amphibiengerät notwendig
Abtrag Wurzelboden	m³	8.050	Bagger auf Ponton oder Amphibienfahrwerk notwendig, Transport mittels Schuten
Holzung, Räumung manuell	ha	3,34	Höhenbereich bis Wasserspiegel +2 m (+127 m NHN)
Holzung, Räumung maschinell	ha	0	entfällt
Rodung	ha	1,85	
Leistung: Erdbau			
Oberbodenabtrag	m³	3.700	(war in der bisherigen Planung nicht vorgesehen)
Aushub Seeboden	m³		entfällt
Geländeprofilierung landseitig	m²	21.500	Profilierung Bereich zwischen Uferböschung und Hochwasserschutzdamm
Geländeprofilierung seeseitig	m²	0	entfällt
Leistung: Verdichtungsarbeiten			
RDV	m³	266.500	
LRV	m³	135.600	
Leistung: Rekultivierungsarbeiten			
Aufforstung	ha	3,34	
Schilfanpflanzung	ha	1,0	
Rasenansaat	m²	21.500	

Randbedingungen

Die bei den geplanten seeseitigen Arbeiten (Schilfmahd, Beräumung durchwurzelte Massen, Herstellung der Uferböschung, Verdichtung) einzusetzende Technik benötigt eine ausreichend große Wassertiefe. Diese wird durch das Einstellen eines möglichst hohen Wasserspiegels im Speicherbecken sichergestellt. Für den Zeitraum der seeseitigen Sicherungsarbeiten ist vorgesehen den Wasserspiegel im Niveau von +125,0 m NHN …+125,5 m NHN einzustellen.

Vor den landseitigen Arbeiten (Holzung, Rodung und Beräumung der über dem Wasserspiegel liegenden Flächen, Verdichtung dieser Bereiche mittels LRV) muss der uferparallel verlaufende RDV-Damm vollständig hergestellt sein.

Für den gesamten Zeitraum der Sicherungsarbeiten (dynamische Verdichtung) ist, um eine Gefährdung Dritter weitgehend auszuschließen, die Umsetzung und Einhaltung des geotechnischen Sperrbereiches zwingend erforderlich.

Zum sicheren mehrmaligen Einbringen und Bergen von Geräten, für Reparaturzwecke und gegebenenfalls für Massenumlagerungen ist die vorhandene Einsetzstelle am gewachsenen Südufer im Bereich E zu nutzen.

Für die geplanten Holzungsarbeiten sind die gesetzlichen bzw. genehmigungsrechtlichen Vorgaben einzuhalten. Ebenso ist der Schilfschnitt außerhalb der Vegetationszeit bzw. in der brutfreien Phase (Winterzeitraum) durchzuführen. Zur Beseitigung des Schilfbewuchses (Schilfmahd) sind entsprechende Spezialgeräte einzusetzen.

Während der Tiefenverdichtung ist eine Verankerung/Abstützung des Pontons auf dem Seeboden mittels einer für die auftretenden Kräfte geeigneten und ausreichend dimensionierten Vorrichtung notwendig. Darüber hinaus muss die Verankerung am Ponton konstruktiv so gestaltet sein, dass für den Fall einer Rutschung die Verankerung an Sollbruchstellen versagt und damit keine Gefahr (durch z. B. Kentern) für den gesamten RDV-Gerätekomplex entsteht und dessen Schwimmfähigkeit erhalten bleibt. Die entsprechende Eignung der eingesetzten Geräte ist durch die AN anhand üblicher Zertifikate nachzuweisen.

Vor Beginn der Sicherungsarbeiten ist die Umverlegung der Medien zur Versorgung Dritter außerhalb des Sperrbereiches umzusetzen.

Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)

Mit den im öffentlichen Raum durchzuführenden Maßnahmen der Gefahrenabwehr treten bei der Umsetzung der Sicherungsvarianten folgende Auswirkungen auf Dritte bzw. Natur- und Umwelt auf:

- Vollständige Beseitigung des Bewuchses im Bereich der Verdichtungsflächen (Stützkörperbereich, Bereich der oberflächennahen Rüttelverdichtung),
- Einschränkung der Nutzung von Wasserfläche und Ufer (Sperrung und Nutzungsausfall, Außerbetriebnahme oder Umverlegung von Medien),
- Beeinträchtigung von Flora und Fauna,
- Technologisch bedingte Auswirkungen (wie Erschütterungseinträge durch Rütteldruckverdichtungsarbeiten),
- Innerhalb der ungesicherten Kippenflächen, d.h. im Sperrbereich, besteht Setzungsfließgefahr,
- Eine Rutschungsgefahr ist auch im Zusammenhang mit den Sicherungsarbeiten gegeben, es besteht die Möglichkeit, dass Kippenflächen und darauf befindliche bauliche Anlagen beschädigt werden,
- Lärm- und Staubemissionen im Zusammenhang mit der Bautätigkeit,
- Verkehrseinschränkungen in den Zufahrtsbereichen zur Baustelle und zur Einsetzstelle durch Baustellenverkehr,
- Temporäre Beeinträchtigung der Seewasserqualität (Trübung) durch die Arbeiten im See.

Mit der RDV erfolgt ein Erschütterungseintrag in den Boden, dessen Ausbreitung im Untergrund unter Umständen zu Schäden an baulichen Objekten führen kann. Aus Erfahrungswerten von bereits durchgeführten und geotechnisch betreuten RDV-Maßnahmen können folgende Auswirkungsradien abgeschätzt werden:

- Als wahrscheinlich sind Schäden an Gebäuden und Objekten anzusehen (wenn keine schwingungsreduzierenden Maßnahmen ergriffen werden), die in eine Entfernung von weniger als 50 m zum Erschütterungseintrag aufweisen,

- Nicht auszuschließen sind Schäden an Gebäuden und Objekten, die sich in einem Entfernungsradius von 50 m bis 150 m zur Schwingungsquelle befinden. Insbesondere gilt dies für erschütterungsempfindliche Bauwerke.

Unter Berücksichtigung der vorangehend aufgeführten Punkte sind für Objekte bis in 150 m Entfernung von der Rütteltrasse, vor Ausführung der dynamischen Verdichtungsarbeiten, Beweissicherungsmaßnahmen (Gebäudesubstanz, Gebäudekonstruktion, bauliche Vorschädigungen usw.) durch Gutachter auszuführen. Weiterhin sind für diese Objekte die spezifisch zulässigen Schwingungseinträge festzulegen. Die Auswirkungen der RDV sind mittels einer baubegleitenden Beweissicherung (Setzungs- und Schwingungsmessungen) während der Ausführung zu überwachen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass Objekte, die auf Kippe gegründet sind, durch den Erschütterungseintrag auch nachträglich Setzungen erleiden können.

Tabelle 20: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich A und B Nord – Sicherungsvariante 1

Beräumungsarbeiten	
Holzung	3,34 ha / in 1 Flurstück
Waldflächen (Rodung)	3,34 ha
RDV – Einwirkung	
Betroffene Flurstücke Abstand bis 50 m	2 Flurstücke
Betroffene Flurstücke Abstand von 50 m bis 150 m	42 Flurstücke
Beweissicherung an Objekten	ca. 5 Stk. (Anlagen der LTV, Auslaufbauwerk, Tor- und Schrankenanlagen, Zäune) + 6 Bungalows westlich der B 96
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich	4 Jahre
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	entfällt
Objektsicherung (Bauwerke LTV)	2 Objekte + 6 Bungalows westlich der B 96

Vorteile

- Durch den Einsatz von schwimmfähiger Technik ist für das RDV-Trägergerät eine ausreichende Gerätestandsicherheit gegeben.

- Mit dem hergestellten Stützkörper werden die unterschiedlichen Kippenmächtigkeiten im Bereich des Uferböschungssystems wirksam gegen Verflüssigung gesichert.

- In Abhängigkeit der Ergebnisse des RDV-Tests wird davon ausgegangen, dass eine Materialzugabe bei der RDV nicht erforderlich wird. Damit würde diese technologisch anspruchsvolle Teilaufgabe entfallen.
- Durch die geplanten Arbeiten erfolgt eine Sicherung des Hochwasserschutzdammes, indem die Verdichtung bis an dessen Böschungsfuß herangeführt wird.
- Mit den geplanten Arbeiten beschränkt sich der Eingriff in Natur und Umwelt auf die Uferfläche bis hin zum Böschungsfuß des Hochwasserschutzdammes. Damit erfolgt kein direkter Eingriff in den Hochwasserschutzdamm, der sich im Böschungshinterland befindet.

Nachteile

- Für die Sicherung der aufgeschütteten Kippenböden wird die RDV notwendig.
- Der Stützkörper verläuft relativ nah am Auslaufbauwerk entlang (der geringste Abstand zwischen Verstecktem Damm und Auslaufbauwerk beträgt ca. 35 m).
- Mit der RDV-Technologie wird zwar auf eine landseitig vielfach bewährte Technologie zurückgegriffen, dennoch ist bislang deren seeseitige Umsetzung deutlich weniger häufig ausgeführt worden und birgt höhere technologische Risiken in sich.
- Wenn eine Materialzugabe notwendig wird, ist diese technologisch schwierig umsetzbar. Der dann erforderliche Einsatz eines pontongestützten Baggers und die notwendige Materialheranführung werden zusätzliche Kosten verursachen.
- Die seeseitige RDV ist aufgrund der zusätzlich erforderlichen Schwimmtechnik teurer gegenüber der landseitigen RDV.
- Durch die RDV werden Trübstoffe im See freigesetzt.
- Für die seeseitigen Arbeiten wird ein Wasserzugang benötigt. Hieraus ergibt sich, im Zusammenspiel mit parallel verlaufenden seeseitigen Arbeiten in den anderen Abschnitten, eine starke Inanspruchnahme der vorhandenen Einsetzstelle.
- Der im Bereich der Verdichtungsflächen vorhandene Bewuchs wird temporär beseitigt.
- Ein hoher Anteil an seeseitigen Arbeiten fällt an und damit tritt ein höherer Anteil an Trübstoffeintrag (Aushub schilfdurchwurzeltes Material, RDV, LRV) auf.
- Vor der RDV sind technologisch anspruchsvolle Abtragsarbeiten (Aushub durchwurzeltes Material) in der wassergesättigten zur Verflüssigung neigenden Kippe auszuführen. Dies kann unter Umständen zu zeitlichen Verzögerungen für die RDV führen.

Kosten

Für die Hauptgewerke der Variante 1 ergeben sich die in folgender Tabelle aufgeführten Kosten:

Tabelle 21: Kosten (Kostengruppen) Bereich A und B Nord – Variante 1

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten [€]**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXXX
Erdbau	XXXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXXXX)	XXXXXXXX
Summe netto	XXXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

6.3.2 Sicherungsvariante 2 – Versteckter Damm, Teilaushub der Kippenmassen

Variantenbeschreibung (Geländeprofilierung, Standsicherheitsverhältnisse)

Als Alternative zur vorliegenden Planung wird im Rahmen dieser Bearbeitung geprüft, ob mit einem Abtrag der auf dem ehemaligen Tagebaurandböschungssystem lagernden Kippenböden die geotechnische Gefahr einer Verflüssigung in ausreichendem Maß beseitigt werden kann.

Die räumliche Verteilung der Kippenböden ist aus den Schnitten in [29], [30] bzw. Anlage 3.1 ersichtlich.

Um eine aus den Kippenböden resultierende Verflüssigungsgefährdung an der Uferböschung auszuschließen, ist der Abtrag dieser Böden bis zum Niveau von +122,2 m NHN notwendig. Die Uferböschung wird damit innerhalb der gewachsenen Böden angelegt. Bei der Planung der Böschungsneigung ist die erforderliche hydromechanische Ausgleichsneigung für den Böschungsbereich zu beachten.

Eine weitere Randbedingung ist die Erhaltung des Hochwasserschutzdammes im Böschungshinterland.

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen ergibt sich gegenüber der ursprünglichen Planung folgende alternative Variante zur Böschungssicherung.

Aufgrund der Mächtigkeit der Kippenablagerungen und deren Ausdehnung bis zum Böschungsfuß des Hochwasserschutzdammes ist in weiten Teilen des betrachteten Böschungsabschnittes nach wie vor die Herstellung eines Stützkörpers zur Sicherung der Uferböschung erforderlich. Abweichend davon weisen die Aufschlussergebnisse im nördlichen Bereich des Uferabschnittes A und im Bereich des Abschnittes B Nord eine geringere Ausdehnung und Mächtigkeit der Kippenböden aus. Hier kann mit einem Abtrag der Kippenböden eine Sicherung der Uferböschung erfolgen.

Im nördlichen Bereich des Uferabschnittes, am Einlaufbauwerk (ca. Station 7+000 bis 7+190) ist eine Böschung mit einer Neigung von 1 : 2 herzustellen. Aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse kann in diesem Bereich nicht die hydromechanisch notwendige Ausgleichsböschungsneigung profiliert werden. Deshalb wird ein Böschungsverbau mittels Wasserbausteinen notwendig. Die seeseitig des neu geplanten Böschungsfußes und über einem Niveau von +122,20 m NHN lagernden Massen werden abgetragen, so dass im Abtragsbereich Kippenböden maximal bis zum Niveau +122,20 m NHN (= Z_A - 2 m) anstehen.

Ab ca. Station 7 + 040 in Richtung Süden ist ein Stützkörper mittels Tiefenverdichtung (RDV) herzustellen. Mit der RDV wird ein Anschluss zum Abtragsbereich gebildet und damit die seitliche Sicherung der Uferböschung sichergestellt.

Für den gesamten südlich anschließenden Bereich, ab ca. Station 7+000, ist die seeseitige Herstellung eines Stützkörpers erforderlich. Der Stützkörper ist, analog zu Variante 1, als eingliedriger RDV-Körper mit einer Breite von 25 m konzipiert und wird auf dem Kippenliegenden gegründet. Auch der Verlauf des Stützkörpers bleibt wie bei Ausführungsvariante 1 gleich und orientiert sich an der Auskohlungsgrenze. Der Stützkörper wird seeseitig hergestellt und vollständig bis zur Station 6+515 geführt. Südlich davon schließt sich ein Übergangsbereich mit einer stetigen Reduzierung der Stützkörperbreite bis zu dessen Ende an. Dieser Übergang stellt den Anschluss zu dem geplanten südlichen Abtragsbereich dar.

Die Oberkante des Stützkörpers wird, ebenso wie bei der Variante 1, durch die vorhandene Seesohle gebildet. Eine Auffüllung oder Profilierung der Stützkörperoberfläche ist nicht vorgesehen.

Dem südlichen Abschnitt des betrachteten Uferabschnittes (Bereich B Nord) liegt das nördliche Ende der Insel gegenüber. Hier besteht wiederum die Möglichkeit anstelle des geplanten Stützkörpers die Setzungsfließgefahr durch einen Abtrag der Kippenböden zu beseitigen. Die in diesem Böschungsabschnitt anzulegende Böschung erhält eine Neigung von 1 : 5. Der Böschungsfuß liegt im Niveau +122,20 m NHN. Ebenso wie im nördlichen Aushubbereich erfolgt seeseitig des Böschungsfußes ein Massenabtrag bis zum Niveau +122,20 m NHN. Für den derzeitigen Planungsstand wird davon ausgegangen, dass die vorgelagerten Inselbereiche erhalten bleiben und somit die Windstreichlänge über der freien Wasserfläche deutlich verkleinert wird. Mit der geringeren Windeinwirkungsfläche (-länge) ergibt sich eine hydromechanische Ausgleichsneigung von 1 : m_A = 1 : 5, sodass keine zusätzlichen technischen Verbaumaßnahmen (Wasserbausteinverbau) notwendig werden.

Die landseitig des RDV-Stützkörpers bis zum Dammfuß des Maukendorfer Randdammes anstehenden Kippenböden und die Böschungen der Abtragsbereiche werden mittels oberflächennaher Rüttelverdichtung (LRV) verdichtet. Damit werden die im Böschungsbereich aufgeschütteten Kippenmaterialien vollständig gegen Verflüssigung gesichert.

Mit der Herstellung eines Stützkörpers („Versteckter Damm“) kann für den Lastfall einer Verflüssigung der wassergesättigten und locker gelagerten Kippenböden eine ausreichende rechnerische Sicherheit nachgewiesen werden. Der Damm in Kombination mit der oberflächennahen Verdichtung verhindert wirksam ein Ausfließen der Kippenmaterialien in Richtung Wasserfläche.

Zudem wird durch die oberflächennahe Verdichtung eine trittsichere Uferfläche hergestellt. Als ingenieurbiologischer Verbau soll entlang des gesamten Böschungsabschnittes der Röhrichtstreifen wieder hergestellt werden.

Technologische Umsetzung

In gleicher Weise wie bei der Ausführung der Variante 1 wird vor Beginn der Verdichtungsarbeiten im Bereich der Verdichtungsflächen (RDV- und LRV-Rütteltrasse) der vorhandene Bewuchs (durch Schilfmahd) vollständig entfernt. Gleichzeitig wird zusätzlich im Bereich der Rüttelflächen das vorhandene schilfdurchwurzelte Material abgetragen und aus dem Baubereich entfernt. Für diese Arbeiten werden ein auf einem Ponton installierter Tieflöffelbagger sowie Schuten für den Abtransport der Massen benötigt. Alternativ kann auch zum Abbaggern dieser Massen ein Tieflöffelbagger auf einem Amphibienfahrwerk eingesetzt werden.

Im Anschluss an die Baggerarbeiten erfolgt die Tiefenverdichtung des Versteckten Dammes mittels der Rütteldruckverdichtung (RDV). Die Ausführung erfolgt analog der Vorgehensweise in Variante 1. Mit dem auf einem Ponton installierten Trägergerät werden die seeseitigen Verdichtungsarbeiten ausgeführt. Das Trägergerät wird an der Einsetzstelle bzw. der Behelfsanlegestelle im Bereich E auf den Ponton platziert. Die RDV soll, analog zur Vorgehensweise der Variante 1, ohne Massenzugabe erfolgen, da der Verdichtungskörper vollständig im wassergesättigten Bereich (unterhalb des Wasserspiegels) liegt. Es wird davon ausgegangen, dass die lockeren Kippenmassen in ausreichendem Maß der Rüttellanze zufließen werden. Dieser angenommene Sachverhalt ist jedoch durch einen den Sicherungsarbeiten vorgelagerten RDV-Test zu verifizieren. Gegebenfalls könnte eine seeseitige Massenzugabe erforderlich werden.

Nach Abschluss der Tiefenverdichtung erfolgt der Aushub der Kippenböden in den geplanten Abtragsbereichen und damit neu herzustellenden Böschungsflächen (nördliche und südliche Abschnitte des betrachteten Uferbereiches).

Ist die Tiefenverdichtung vollständig ausgeführt, wird mittels oberflächennaher Rüttelverdichtung (LRV) der obere Stützkörperteil sowie die landseitig des RDV-Dammes anstehenden Kippenböden verdichtet. Die Verdichtung erfolgt sowohl unter der Wasseroberfläche als auch landseitig der Uferlinie. Für die Durchführung der oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) ist amphibische Gerätetechnik, die sowohl auf See als auch auf Land operieren kann, einzusetzen. Die Verdichtungsarbeiten erfolgen streifen- bzw. segmentweise senkrecht zur Uferlinie. Begonnen wird die Verdichtung am seeseitigen Ende des RDV-Dammes und dann fortschreitend in Richtung Ufer.

Um die in den Aushubbereichen innerhalb der neu entstehenden Böschungen noch vorhandenen Kippenböden zu verdichten, sollen auch diese Flächen mittels oberflächennaher Verdichtung bearbeitet und damit verdichtet werden. Im nördlichen Abtragsbereich ist darüber hinaus geplant, seeseitig des (im Niveau +122,2 m NHN) entstehenden Böschungsfußes die Kippenböden auf einer Breite von 2 m zusätzlich zu verdichten, so dass der Wasserbausteinverbau am Böschungsfuß auf verdichtetem Kippenboden gegründet werden kann. Da eine genaue Abgrenzung zwischen Kippenböden und Gewachsenem mit den vorhandenen Aufschlüssen nicht möglich ist, wird planerisch für die Kosten- und Massenermittlung die gesamte zu verdichtende Fläche angesetzt. Werden im Rahmen der Bauausführung dicht gelagerte Böden angetroffen, die auf das Anstehen des Gewachsenen hindeuten, so kann auf diesen Flächen die Verdichtung ausgespart werden. Dadurch verringert sich das zu verdichtende Kippenvolumen entsprechend.

Die für die oberflächennahe Rüttelverdichtung vorgesehenen Rüttelelemente/ -einheiten müssen in der Lage sein, durchwurzelte bis stark durchwurzelte (im wesentlichen Schilfwurzelwerk, untergeordnet geringstarkes Baumwurzelwerk) Bodenschichten zu durchdringen und zu verdichten. Vorzugsweise sind hierfür starre Rüttelelemente einzusetzen wie z. B. Rüttelbohlen die an Traversen befestigt sind. Dadurch besteht die Möglichkeit Wurzelwerk zu durchtrennen und den darunter befindlichen Boden zu verdichten.

Nach Abschluss der Verdichtungsarbeiten erfolgt eine Profilierung der Uferböschung. An diese schließen sich Rekultivierungsarbeiten an. Es erfolgt eine Wiederaufforstung der geholzten Flächen. Gleichzeitig wird der vormals entlang der Uferlinie vorhandene Schilfgürtel wiederhergestellt.

Die vorstehend ausführlich beschriebenen Arbeiten zur Herstellung des Stützkörpers im nördlichen Teilbereich lassen sich in folgende Teilschritte gliedern:

1. Baufeldberäumung der Verdichtungsflächen, die innerhalb der Seefläche liegen (Bewuchs: Schilf, Bäume)
2. Vorsondierungen
3. RDV ohne Massenzugabe
4. Nachsondierungen
5. Aushub der Kippenböden und Herstellung der Uferböschung
6. Baufeldberäumung der landseitigen LRV-Fläche (Bewuchs: Schilf, Bäume)
7. Vorsondierungen (RS)
8. LRV
9. Nachsondierungen (RS)
10. Endprofilierung der Uferfläche
11. Herstellung Uferbefestigung mittels Wasserbausteinen im nördlichen Aushubbereich
12. Rekultivierung im Bereich der bearbeiteten Flächen (Wiederherstellung Bewuchs: Bäume, Rasen, Schilf)

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 22: Mengenaufgliederung Bereich A und B Nord – Variante 2

Bezeichnung	***Einheit***	***Menge***	***Hinweise***
Leistung: Beräumung und Abbruch			
Schilfmahd	ha	1,0	Amphibiengerät notwendig
Holzung, Räumung manuell	ha	1,6	
Holzung, Räumung maschinell	ha	0	
Rodung	ha	0,7	
Leistung: Erdbau			
Oberbodenabtrag	m³	3.700	(war in der bisherigen Planung nicht vorgesehen)
Aushub Seeboden	m³	47.900	Massenabtrag Kippenböden
Geländeprofilierung landseitig	m²	21.500	
Geländeprofilierung seeseitig	m²	40.500	
Leistung: Verdichtungsarbeiten			
RDV	m³	173.800	
LRV	m³	171.600	
Leistung: Rekultivierungsarbeiten			
Aufforstung	ha	1,6	
Schilfanpflanzung	ha	1,0	
Rasenansaat	m²	21.500	

Randbedingungen

Für die geplanten seeseitigen Arbeiten (Schilfmahd, Beräumung durchwurzelte Massen, Herstellung der Uferböschung, Verdichtung) benötigt die einzusetzende Technik eine ausreichende Wassertiefe. Hierfür ist ein möglichst hoher Wasserspiegel im Speicherbecken einzustellen. Entsprechend der Planungen ist für den Zeitraum der seeseitigen Sicherungsarbeiten vorgesehen, den Wasserspiegel im Niveau von +125,0 m NHN …+125,5 m NHN einzustellen.

Bevor landseitige Arbeiten (Holzung, Rodung und Beräumung der über der Wasserlinie liegenden Flächen, Verdichtung dieser Bereiche mittels LRV) erfolgen können, müssen der uferparallel verlaufende RDV-Damm vollständig hergestellt sowie die Abträge der Kippenmassen in den für eine Profilierung vorgesehenen Böschungsabschnitten abgeschlossen sein.

Für den gesamten Zeitraum der Sicherungsarbeiten (dynamische Verdichtung) ist, um eine Gefährdung Dritter auszuschließen, die Einrichtung und Durchsetzung des geotechnischen Sperrbereiches zwingend erforderlich.

Zum sicheren mehrmaligen Einbringen und Bergen von Geräten, für Reparaturzwecke und gegebenenfalls für Massenumlagerungen ist die vorhandene Einsetzstelle am gewachsenen Südufer im Bereich E zu nutzen.

Die Zeiträume/Zeitpunkte der geplanten Holzungsarbeiten sind entsprechenden den gesetzlichen und genehmigungsrechtlichen Vorgaben zu wählen. Analog gilt, dass der Schilfschnitt außerhalb der Vegetationszeit bzw. in der brutfreien Phase durchzuführen ist. Für die Beseitigung des Schilfbewuchses (Schilfmahd) sind entsprechende Spezialgeräte einzusetzen.

Während der Tiefenverdichtung ist eine Verankerung/Abstützung des Pontons auf dem Seeboden mittels einer für die auftretenden Kräfte geeigneten und ausreichend dimensionierten Vorrichtung notwendig. Darüber hinaus muss die Verankerung am Ponton konstruktiv so gestaltet sein, dass für den Fall einer Rutschung die Verankerung an Sollbruchstellen versagt und damit keine Gefahr für den gesamten RDV-Gerätekomplex entsteht und dessen Schwimmfähigkeit erhalten bleibt. Die entsprechende Eignung der eingesetzten Geräte ist durch die AN anhand üblicher Zertifikate nachzuweisen.

Vor Beginn der Sicherungsarbeiten ist die Umverlegung der Medien zur Versorgung Dritter außerhalb des Sperrbereiches umzusetzen.

Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)

Mit den im öffentlichen Raum durchzuführenden Maßnahmen der Gefahrenabwehr sind bei der Umsetzung der Sicherungsvarianten folgende Auswirkungen auf Dritte sowie Natur und Umwelt gegeben:

- Vollständige Beseitigung des Bewuchses im Bereich der Verdichtungsflächen (Stützkörperbereich, Bereich der oberflächennahen Rüttelverdichtung),
- durch den Abtrag der Kippenböden wird die Böschungsgeometrie in den Abtragsbereichen verändert,
- im Bereich des Einlaufbauwerkes erfolgt eine Böschungssicherung mittels Wasserbausteinverbau,
- Einschränkung der Nutzung von Wasserfläche und Ufer (Sperrung und Nutzungsausfall, Außerbetriebnahme oder Umverlegung von Medien),
- Beeinträchtigung von Flora und Fauna,

- Technologisch bedingte Auswirkungen (wie Erschütterungseinträge durch Rütteldruckverdichtungsarbeiten),
- Innerhalb der ungesicherten Kippenflächen, d. h. im Sperrbereich, besteht Setzungsfließgefahr,
- Eine Rutschungsgefahr ist auch im Zusammenhang mit den Sicherungsarbeiten gegeben, es besteht die Möglichkeit, dass Kippenflächen und darauf befindliche bauliche Anlagen beschädigt werden,
- Lärm- und Staubemissionen im Zusammenhang mit der Bautätigkeit,
- Verkehrseinschränkungen in den Zufahrtsbereichen zur Baustelle und zur Einsetzstelle durch Baustellenverkehr,
- Temporäre Beeinträchtigung der Seewasserqualität (Trübung) durch die Arbeiten im See.

Mit der RDV erfolgt ein Erschütterungseintrag in den Boden, dessen Ausbreitung im Untergrund unter Umständen zu Schäden an baulichen Objekten führen kann. Aus Erfahrungswerten von bereits durchgeführten und geotechnisch betreuten RDV-Maßnahmen können folgende Auswirkungsradien abgeschätzt werden:

- keine schwingungsreduzierenden Maßnahmen ergriffen werden), die in einer Entfernung von weniger als 50 m zum Erschütterungseintrag aufweisen,
- Nicht auszuschließen sind Schäden an Gebäuden und Objekten, die sich in einem Entfernungsradius von 50 m bis 150 m zur Schwingungsquelle befinden. Insbesondere gilt dies für erschütterungsempfindliche Bauwerke.

Unter Berücksichtigung der vorangehend aufgeführten Punkte sind für Objekte bis in 150 m Entfernung von der Rütteltrasse, vor Ausführung der dynamischen Verdichtungsarbeiten, Beweissicherungsmaßnahmen (Gebäudesubstanz, Gebäudekonstruktion, bauliche Vorschädigungen usw.) durch Gutachter auszuführen. Weiterhin sind für diese Objekte die spezifisch zulässigen Schwingungseinträge festzulegen. Die Auswirkungen der RDV sind mittels einer baubegleitenden Beweissicherung (Setzungs- und Schwingungsmessungen) während der Ausführung zu überwachen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass Objekte, die auf Kippe gegründet sind, durch den Erschütterungseintrag auch nachträglich Setzungen erleiden können.

Tabelle 23: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich A und B Nord – Sicherungsvariante 2

Beräumungsarbeiten	
Holzung und Rodung	1,6 ha / in 1 Flurstück
Waldflächen (Rodung)	1,6 ha
RDV – Einwirkung	
Betroffene Flurstücke Abstand bis 50 m	2 Flurstücke
Betroffene Flurstücke Abstand von 50 m bis 150 m	35 Flurstücke
Beweissicherung an Objekten	ca. 5 Stk. (Anlagen der LTV, Auslaufbauwerk, Tor- und Schrankenanlagen, Zäune) + 6 Bungalows westlich der B 96
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich	4 Jahre
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	entfällt
Objektsicherung (Bauwerke LTV)	2 Objekte + 6 Bungalows westlich der B 96

Vorteile

- Durch den Massenabtrag im nördlichen und südlichen Bereich des Uferabschnittes A und B Nord wird eine Minimierung des RDV-Volumens erreicht. Dadurch ergibt sich für die RDV eine geringere Bauzeit, es sind Kosteneinsparungen zu erwarten.
- Durch eine Böschungsprofilierung kann im Bereich des Auslaufbauwerkes ein strömungsgünstigeres Profil hergestellt werden (evtl. noch mit der LTV abzustimmen).
- Durch die Herstellung des Böschungsverbaus (mittels Wasserbausteinen) erfolgt eine hydromechanische Sicherung dieser neu herzustellenden Böschung.
- Durch den Massenaushub in den Profilierungsbereichen werden Bodenmassen gewonnen, die in anderen Bereichen für Auffüllungen genutzt werden können. Damit reduzieren sich extern bereitzustellende Massen, was sich in der Massenbilanz positiv auswirkt.
- Die RDV wird nicht im Nahbereich des Auslaufbauwerkes ausgeführt. Durch die Böschungsprofilierung in diesem Bereich, kann der Abstand zwischen dem Stützkörper und dem Auslaufbauwerk auf 55 m vergrößert werden. Damit werden die aus der Verdichtung resultierenden dynamischen Einwirkungen auf das Bauwerk entsprechend verringert.
- Die Gerätestandsicherheit für das RDV-Trägergerät ist durch schwimmfähige Technik sichergestellt.
- Der geplante Stützkörper sichert die unterschiedlich mächtigen Kippenanfüllungen im Bereich des Uferböschungssystems.
- In Abhängigkeit der Ergebnisse des RDV-Tests wird davon ausgegangen, dass eine Materialzugabe bei der RDV nicht erforderlich wird.
- Mit der Verdichtung der Kippenböden bis an den Böschungsfuß des Hochwasserschutzdammes heran erhält der Hochwasserschutzdamm eine wirksame Sicherung auch für den Lastfall Verflüssigung.
- Mit den geplanten Arbeiten erfolgt kein Eingriff im Böschungshinterland landseitig des Böschungsfußes des Hochwasserschutzdammes.

Nachteile

- Die RDV wird zur Sicherung der Kippenböden im mittleren Bereich des betrachteten Böschungsabschnittes dennoch notwendig. Damit verringert sich der Kostenanteil für die Verdichtung gegenüber der Variante 1 nur unwesentlich.
- Mit der RDV-Technologie wird zwar eine bewährte Verdichtungstechnologie angewendet, dennoch ist die seeseitige Umsetzung deutlich weniger häufig ausgeführt worden und birgt höhere technologische Risiken in sich.
- Wenn eine Materialzugabe notwendig wird, ist diese technologisch schwierig umsetzbar. Der dann erforderliche Einsatz eines pontongestützten Baggers und die notwendige Materialheranführung werden zusätzliche Kosten verursachen.
- Die seeseitige RDV ist aufgrund der zusätzlich erforderlichen Schwimmtechnik teurer gegenüber der landseitigen RDV.
- Durch die RDV werden Trübstoffe im See freigesetzt.
- Für die seeseitigen Arbeiten wird ein Wasserzugang benötigt, damit besteht eine starke Inanspruchnahme der vorhandenen Einsetzstelle.

- Der gesamte Bewuchs wird im Bereich der Verdichtungsflächen und der Abtragsbereiche (Entfernung des Kippenbodens) beseitigt.
- Im Bereich der am Einlaufbauwerk herzustellenden Böschung wird zusätzlich eine Erosionssicherung mittels Wasserbausteinverbau erforderlich, da die Herstellung der hydromechanisch erforderlichen Ausgleichsneigung aufgrund der vorhandenen Böschungsgeometrie und der vorhandenen Mächtigkeit und Verteilung der Kippenböden nicht möglich ist.
- Die mit dem Aushub der Kippenböden gewonnenen Massen sind durchnässt und können zum Großteil nur seeseitig abgetragen werden. Damit ergibt sich ein entsprechend hoher logistischer Aufwand um diese Materialien landseitig zu verwenden (Umschlag der Massen an Land, Transport an Land, Lagerflächen zum Abtrocknen der Massen, etc.).
- Ein hoher Anteil an seeseitigen Arbeiten und damit ein erhöhter Anteil an Trübstoffeintrag in das Gewässer sind zu erwarten.
- Vor der RDV sind technologisch anspruchsvoller Abtragsarbeiten (Aushub durchwurzeltes Material) in der wassergesättigten ungesicherten Kippe auszuführen, dies kann bei zu Problemen und u. U. zu zeitlichen Verzögerungen für die RDV führen.

Kosten

Für die Hauptgewerke der Variante 2 ergeben sich die in folgender Tabelle aufgeführten Kosten:

Tabelle 24: Kosten (Kostengruppen) Bereich A und B Nord – Variante 2

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten [€]**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXXX
Erdbau	XXXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXXXX)	XXXXXXXX
Summe netto	XXXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

6.3.3 Variantenvergleich

In den beiden vorangegangenen Kapiteln wurden 2 Varianten zur Sicherung der Böschungen im Rahmen der Gefahrenabwehr für den Uferabschnitt A und B Nord beschrieben. In beiden Varianten ist jeweils die Herstellung eines Versteckten Dammes notwendig, um ein Verflüssigen der im Uferbereich lagernden Kippenböden auszuschließen. Die Herstellung des Dammes erfolgt für beide Varianten mittels Rütteldruckverdichtung, die aufgrund der geometrischen Verhältnisse im Uferabschnitt nur durch seeseitige Technik ausgeführt werden kann.

Beide Varianten unterscheiden sich in der Länge des herzustellenden RDV-Dammes. In der Variante 1 wird der Versteckte Damm über die gesamte Uferlänge des betrachteten Bereiches hergestellt. Demgegenüber wird in der Variante 2 neben der Herstellung eines RDV-Stützkörpers auch ein Aushub von geringmächtigen Kippenbodenablagerungen in Betracht gezogen. Somit wird die erforderliche Dammlänge entsprechend verkürzt. Zusätzlich zum RDV-Stützkörper sind bei dieser Variante Abträge der Kippenböden einhergehend mit einer Umprofilierung der Uferböschung geplant.

Die technologischen Abläufe zur Herstellung des Stützkörpers sind für beide Varianten identisch. Im Vergleich der Varianten ergeben sich Unterschiede in den erforderlichen Mengen und Kosten.

Durch Verkürzung des Versteckten Dammes bei der Variante 2 verringern sich die Erschütterungsaus- bzw. -einwirkungen auf das Hinterland. In der Variante 1 liegen insgesamt 42 Flurstücke und in der Variante 2 nur 35 Flurstücke innerhalb eines Radius von 150 m zur RDV-Quelle.

Die Unterschiede in wesentlichen Leistungspunkten und Kosten zeigt folgende Tabelle:

Tabelle 25: Vergleich einzelner Kostenpositionen Bereich A und B Nord Varianten 1 und 2

Leistung	Variante 1		Variante 2	
	Menge	Kosten [€]	Menge	Kosten [€]
Abbruch und Beräumung				
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	3,34 ha	XXXXXXX	1,6 ha	XXXXXXX
Holzung, Beräumung (maschinell) - Erdbaubereiche				
Beräumung, Rodung	1,85 ha	XXXXXXX	0,7 ha	XXXXXXX
Schilfmahd und Entsorgung	1,0 ha	XXXXXXX	1,0 ha	XXXXXXX
Abbruch baulicher Anlagen	1	XXXXXXX	1	XXXXXXX
Erdbau				
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau				
Seeseitig Massen transportieren und einbauen	3.875 m³	XXXXXXX	47.900 m³	XXXXXXX
Bodenmaterial liefern, Fremdmaterial, landseitiger Einbau				
Landseitig Massen transportieren und einbauen				
Verdichtungsleistungen				
RDV, seeseitige Ufersicherung	266.500 m³	XXXXXXX	173.800 m³	XXXXXXX
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 5m	135.600 m³	XXXXXXX	171.600 m³	XXXXXXX
Rekultivierung				
Summe Rekultivierung	3,34 ha	XXXXXXX	1,6 ha	XXXXXXX
Mediensicherung				
Summe Mediensicherung	entfällt		entfällt	
Entschädigungsleistungen				
Summe Entschädigungsleistungen		XXXXXXX		XXXXXXX

Die Gesamtauflistung des Kostenvergleiches für den Uferbereich A und B Nord am Knappensee befindet sich in der Anlage 5.

Insgesamt zeigt sich, dass nur ein geringer kostenmäßiger Unterschied zwischen den beiden betrachteten Varianten vorliegt.

Durch die Verkürzung des RDV-Dammes in Variante 2 reduzieren sich die Betroffenheiten Dritter, da deutlich weniger Flurstücke innerhalb des 150 m Radius zur Erregerquelle liegen.

Auch kann durch die Dammverkürzung ein größerer Abstand zum Auslaufbauwerk der LTV und dem Einwirkungspunkt der RDV erreicht und damit die Erschütterungseinwirkung und damit das Beschädigungsrisiko entsprechend verringert werden. Bei der Variante 2 liegt das Auslaufbauwerk außerhalb des 50 m Radius zur Erregerquelle (RDV).

Am nördlichen und südlichen Ende erfolgen der Aushub der anstehenden Kippenböden und eine Abflachung der vorhandenen Böschung bzw. eine wasserbautechnische Sicherung der hergestellten Böschung.

Aus geotechnischer, technologischer und planerischer Sicht ist der Variante 2 der Vorzug zu geben.

Im Vergleich der Kosten zeigt sich, dass die Variante 1 mit XXXXXXX und die Variante 2 mit XXXXXXX zu Buche schlägt. Damit ergibt sich ein Unterschied zwischen beiden Varianten von XXXXXXX.

Einen wesentlichen Anteil dieser höheren Kosten nehmen die seeseitigen Massenabträge ein. Die Massenabträge wurden für die hier vorgenommene Variantenabschätzung als seeseitiger Massenaushub angenommen. Nicht eingepreist sind Vorteile, die sich aus der Verwendung der aus dem Massenabtrag anfallenden Massen in anderen Bereichen ergeben.

Auch der Zuschlag von XXX auf die technischen Leistungen umfasst eine Summe von XXXXXXX. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass diese angenommenen zusätzlichen Kosten nicht zwangsläufig entstehen bzw. auftreten müssen.

Aus wirtschaftlicher Sicht wäre der Variante 1 der Vorzug zu geben.

Unter Berücksichtigung des Risikos einer Beschädigungsmöglichkeit des Auslaufbauwerkes durch den geringeren Abstand zwischen der Erregerquelle (RDV) und dem Bauwerk in Variante 1 und den daraus folgenden Aufwendungen zur Sanierung, kann die Variante 2 auch wirtschaftlich als gleichwertig angesehen werden.

Darüber hinaus ist zu bedenken, dass bei einer Beschädigung des Auslaufbauwerkes sich u. U. Einschränkungen in der Regelfunktion des Wasserstandes im Speicherbecken ergeben können. Damit verbunden wären, bei einem unplanmäßigen Unterschreiten des für die Sicherungsarbeiten vorgesehenen Wasserspiegels, möglicherweise Stillstände der seeseitigen Technik, was wiederum zusätzliche Kosten verursachen würde.

Aus planerischer Sicht wird die Variante 2 als geeignetste Variante zur Beseitigung der Verflüssigungsgefahr im Uferabschnitt A und B Nord angesehen.

6.4 Alternativenprüfung - Bereich U

6.4.1 Sicherungsvariante 1 – Versteckter Damm (seeseitig)

Variantenbeschreibung (Geländeprofilierung, Standsicherheitsverhältnisse)

Der Bereich U am Knappensee lässt sich in zwei Teilbereiche mit unterschiedlichen geotechnischen bzw. morphologischen Eigenschaften / Gegebenheiten unterteilen.

Nördlich an den Teilbereich A schließt sich der westliche Teilabschnitt des Uferbereiches U an. Die Böschung wird durch das ehemalige Randböschungssystem des Tagebaus gebildet und weist im flach ausgebildeten Böschungshinterland einen starken Schilfbewuchs sowie einen unterschiedlich dichten Baumbewuchs auf. Bei Einstau auf +126,0 m NHN ist der Hinterlandbereich überstaut und die Uferlinie rückt an den Dammfuß des Hochwasserschutzdammes. Ähnlich wie im Abschnitt A ist das ehemalige Tagebaurandböschungssystem mit Kippenmaterial überschüttet. Über Mächtigkeit und Ausdehnung der Kippenmaterialien liegen keine Informationen vor.

Der gesamte nördliche Uferbereich bildet den zweiten Teilbereich der Uferböschung im Abschnitt U. Die Uferböschung liegt vollständig innerhalb von Kippenmaterial. Die Kippe besteht aus einer Spülkippe, die auf gerutschten Massen einer Absetzerkippe liegt. Eine überlagernde Pflug- oder Handkippe kann nicht ausgeschlossen werden. Für diesen Uferbereich sind mehrere Rutschungen dokumentiert, die in der Spülkippe bzw. während des Spülkippenbetriebes aufgetreten sind. Die Kippenmächtigkeit beträgt ca. 25…34 m. Mit 1: 17…60 ist die Neigung der Uferböschung sehr flach ausgebildet. Im Uferhinterland schließt sich eine Hochkippe an, deren Böschungsfuß teilweise seeseitig der Auskohlungsgrenze und der OK Abraum liegt. Die südlichen Böschungen der Hochkippe besitzen den Schüttwinkel der Herstellung und weisen Neigungen von 1 : 2,4…1,5 auf, die dem natürlichen Schüttwinkel entsprechen.

Entsprechend dem vorliegenden Planungsstand ist für den nördlichen Abschnitt im Bereich U des Knappensees die seeseitige Herstellung eines Stützkörpers geplant. Der Stützkörper ist als eingliedriger RDV-Körper konzipiert. Dieser weist eine Breite von 25 m auf und orientiert sich mit seiner landseitigen Grenze an der bestehenden Uferlinie. Die Verdichtung des Stützkörpers wird über die gesamte Kippenmächtigkeit bis zum Liegenden der Kippe ausgeführt.

Der geplante Stützkörper schließt an seinem östlichen Ende an den bereits in der Bauphase 1 herzustellenden RDV-Körper an.

Die Böschung des Stützkörpers erhält unterhalb der Höhenkote +126,0 m NHN eine Neigung von 1:15, die gleichzeitig die hydromechanisch erforderliche Ausgleichsneigung für den Uferbereich darstellt und im See bis zum Höhenniveau +122,2 m NHN (entspricht Z_A – 2 m) geführt wird. Seeseitig des RDV-Stützkörpers wird die Uferböschung sowie die Oberfläche des RDV-Körpers selbst mittels oberflächennaher Rüttelverdichtung (LRV) bis in 4 m Tiefe verdichtet. Oberhalb der Höhenkote +126,0 m NHN wird eine 6 m breite 1:3 geneigte Böschung hergestellt. Mit dieser Böschung erfolgt innerhalb des Stützkörpers die Anhebung der Geländeoberfläche auf das Höhenniveau +128 m NHN.

Eine schematische Darstellung des geplanten RDV-Stützkörpers zeigt das Regelprofil in der nachfolgenden Abbildung.

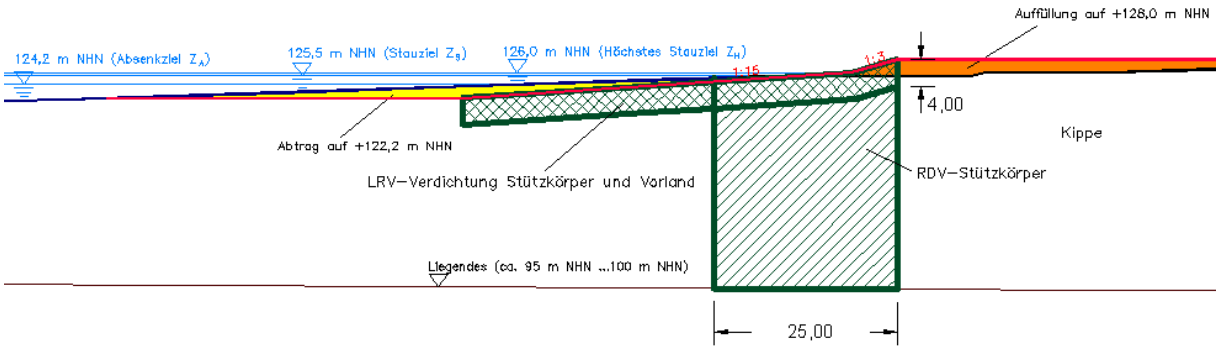

Abbildung 3: Regelprofil seeseitiger Stützkörper im Bereich U – Variante 1

Bis zum Niveau +128,0 m NHN erfolgt, zzgl. eines zusätzlichen Sicherheitszuschlages von ca. 0,2 m zum Ausgleich für später eintretende Setzungen, im Stützkörperhinterland die Auffüllung zur Herstellung einer für den Einstaufall Z_H = +126,0 m NHN mindestens zu gewährleistenden erdfeuchten Überdeckung von h_{erd} = 2,0 m. Damit werden alle landseitig hinter dem Stützkörper liegenden Flächen auf ein Niveau von +128,2 m NHN aufgehöht. Teilweise wird eine Aufhöhung bis zum Niveau +129 m NHN zur Stützung des Vorlandes der Hochkippenböschung erforderlich. Die Hochkippe selbst muss beginnend vom Böschungsfuß abgeflacht werden. Die mit dem Abtrag herzustellende Neigung der Hochkippenböschung beträgt 1:20…1:25. An diese Böschung schließt sich bis zum Verschnitt mit der bestehenden Geländeoberfläche eine maximal ca. 3,0 m hohe Böschung mit einer Neigung von ca. 1:4 an.

Im westlichen Teilabschnitt ist die Verdichtung der angeschütteten Kippenböden mittels LRV (mind. 4 m tief) geplant. Eine Schilfmahd bzw. die Beseitigung des Schilfbewuchses ist nicht vorgesehen. Eine über die vorangehend beschriebenen Arbeiten hinausgehende Sicherung oder Profilierung ist für diesen Uferbereich nicht vorgesehen.

Die nördliche Uferböschung im vorhandenen Ist-Zustand weist im Falle einer vollständigen Verflüssigung keine ausreichende rechnerische Böschungsstandsicherheit auf. Wird ein ausreichend großes Initial eingetragen, so besteht für die Böschung die Gefahr einer Setzungsfließrutschung. Damit einhergehend besteht für alle innerhalb der zu erwartenden Rückgriffweite befindlichen Personen Gefahr für Leib und Leben und für darin vorhandene Gegenstände und Sachwerte Verlust- bzw. Beschädigungsgefahr.

Bei Vorhandensein eines Stützkörpers („Versteckter Damm“) kann auch für den Fall einer Verflüssigung der wassergesättigten und locker gelagerten Böden eine ausreichende rechnerische Sicherheit nachgewiesen werden. Durch den Versteckten Damm wird ein Setzungsfließen der Uferböschung wirksam verhindert.

Mit der Herstellung der Uferböschung und deren oberflächennahen Verdichtung wird ein trittsicheres und hydromechanisch stabiles Ufer hergestellt.

Durch die geplante Abflachung der Hochkippenböschung und der im Stützkörperhinterland vorgenommenen Auffüllung ist auch für die Hochkippenböschung für den Lastfall vollständige Verflüssigung der locker gelagerten wassergesättigten Kippenböden eine ausreichende rechnerische Standsicherheit nachweisbar.

Technologische Umsetzung

Begonnen werden die Arbeiten zur Herstellung des RDV-Stützkörpers mit der Entfernung des aufgehenden Bewuchses (Schilfmahd) im Bereich der Verdichtungsflächen (RDV- und LRV-Rütteltrassen). In diesem Bereich erfolgt zusätzlich ein Abtrag des mit Schilfwurzeln durchsetzten Bodens in einer Mächtigkeit von ca. 1 m. Die Arbeiten zum Massenabtrag bzw. der Baufeldberäumung im Bereich der Rütteltrasse erfolgen seeseitig. Für die Schilfmahdarbeiten wird amphibische Gerätetechnik notwendig. Der Aushub des durchwurzelten Bodens kann, bei ausreichender Wassertiefe, mit einem Tieflöffelbagger, der auf einem Ponton installiert ist und Schuten als Transportmittel ausgeführt werden. Alternativ zur Ponton-Baggereinheit kann ein Tieflöffelbagger auf Amphibienfahrwerk genutzt werden.

Aufgrund der/des im Bearbeitungsbereich sehr flach einfallenden Uferböschung/Seegrundes wird es notwendig, im Anschluss an die Baufeldberäumung (Abtrag der Schilfbereiche inkl. des Wurzelhorizontes) den Seegrund zu vertiefen. Dadurch wird für die Pontoneinheit des RDV-Trägergerätes sowie für die weiteren Schwimmgeräte (z. B. Ponton) eine ausreichende Wassertiefe hergestellt, damit diese an den Standort des Versteckten Dammes gelangen können. Durch die Baggermaßnahmen ist ein temporärer Arbeitsgraben herzustellen. Die Grabensohle schließt sich seeseitig an den RDV-Stützkörper an und wird mit einer Breite von ca. 30 m hergestellt. Die Grabensohle soll im Niveau von +122,5 m NHN liegen. Damit ist auch für „Begegnungsverkehr“ mehrerer Wasserfahrzeuge eine ausreichende Breite vorhanden und verschiedene Arbeitsschritte können parallel abgearbeitet werden. Die Böschungen des Grabens sind mit einer Neigung von 1 : 5 geplant. Der Grabenaushub kann mittels Saugspülbagger oder einem auf Ponton installierten Tieflöffelbagger erfolgen. Das abgebaggerte Material wird, bei entsprechender Eignung, als Auffüllmaterial in seeseitig aufzufüllenden Bereichen (bspw. im Bereich des bereits hergestellten Stützkörpers oder im Nachbarbereich T) genutzt. Zur Auffüllung und Verdichtung ungeeignetes Material muss an Land verbracht und entsorgt werden.

Nach Abschluss der vorbereitenden Arbeiten beginnen die Verdichtungsarbeiten am Versteckten Damm. Die Ausführung der RDV im Routinebetrieb ist ohne Materialzugabe geplant, da davon ausgegangen wird, dass die unter Wasser befindlichen Bodenmassen in ausreichendem Maß dem Rüttelloch bzw. der Rüttellanze zufließen werden. Darüber hinaus ist eine Absenkung des Seebodens zum Erreichen einer ausreichenden Wassertiefe (Tiefgang Ponton) erwünscht.

Zur Abarbeitung der Verdichtungspunkte ist geplant, die Fahrachse der RDV-Pontoneinheit neben den herzustellenden Stützkörper in den Bereich des temporären Arbeitsgrabens zu legen und parallel zur Uferlinie/Stützkörper fortzuschreiten.

Der Großteil der RDV-Ansatzpunkte befindet sich im Bereich der Wasserfläche (unterhalb des Seewasserspiegels). Eine Absteckung der RDV-Ansatzpunkte ist aus diesem Grund nicht möglich, so dass das Anfahren der Rüttelpunkte mittels GPS-System erforderlich wird. Die RDV wird in einer Sicherheitsfahrweise mit zusätzlicher PWD-Überwachung ausgeführt.

Nach Durchführung der RDV ist (vor Ausführung der oberflächennahen Rüttelverdichtung) im Bereich des Stützkörpers (wegen der Absenkwirkung der RDV) und des temporären Grabens eine Auffüllung notwendig. Mit dieser Auffüllung ist die Geometrie der Stützkörper- und der sich daran anschließenden Uferböschung weitgehend herzustellen. Da durch die oberflächennahe Rüttelverdichtung eine Verdichtung der lockeren Massen und damit Absenkung der Oberfläche erfolgt, ist die Auffüllung um die erwarteten Absenkungsbeträge unter Berücksichtigung eines Sicherheitsaufschlages (um ca. 0,5 m) zu erhöhen.

Die Auffüllung erfolgt durch ein Auf- bzw. Einspülen von Sandmassen. Alternativ kann auch ein Massenauftrag mit einem Bagger auf Amphibienfahrwerk erfolgen. Hierfür sind die Massen mittels geeigneter Schutentechnik (z. B. Schuten mit einem lamellenartigen Klapprost) anzutransportieren und zu entladen.

Die Massengewinnung kann dabei von See (mittels Saugspülbagger) oder von Land aus erfolgen. Es ist anzustreben, dass die Massenauftragsarbeiten zur Herstellung der Uferböschung gleichzeitig mit den seeseitig der Uferböschung geplanten Arbeiten des Massenabtrages zur Herstellung einer Seesohle im Niveau +122,2 m NHN erfolgen. Damit können die abgetragenen Massen direkt im Bereich der Uferböschung eingebaut/eingespült werden. Mit dem eingespülten oder aufgetragenen Sandmaterial ist eine möglichst regelmäßige und konturgetreue Stützkörperoberfläche herzustellen. Bei einem Einspülen von Material ist es dazu notwendig, den Einspülfortschritt (Böschungsaufbau) regelmäßig zu kontrollieren, um die Verspüleinheit entsprechend der Notwendigkeit zu versetzen (dafür kann Amphibientechnik notwendig werden).

Gegebenenfalls wird, je nach erreichter Konturgenauigkeit der Einspülarbeiten, eine abschließende Profilierung zur Herstellung des Regelprofils notwendig, die nur mittels amphibischer Technik (z. B. Tieflöffelbagger mit Amphibienfahrwerk) erfolgen kann.

Mit Fertigstellung der Auffüllung ist im gesamten hergestellten Böschungsbereich des Stützkörpers sowie der vorgesehenen Uferböschung bis zur Unterkante im Niveau +122,2 m NHN eine oberflächennahe Rüttelverdichtung durchzuführen. Mit dieser werden die oberen Stützkörperbereiche des RDV-Dammes sowie die seeseitig davor liegende Uferböschung (siehe Abbildung 2) verdichtet. Die Verdichtung erfolgt bis in eine Tiefe von 4,0 m … 5,0 m.

Für die Durchführung der oberflächennahen Rüttelverdichtung ist amphibische Gerätetechnik notwendig, die sowohl auf See als auch auf Land operieren kann. Die Verdichtungsarbeiten erfolgen streifen- bzw. segmentweise senkrecht zur Uferlinie. Begonnen wird mit der Verdichtung an der seeseitigen Böschungskante bzw. der Höhenkote Z_A – 2,0 m = +122,2 m NHN und dann fortschreitend in Richtung Ufer.

Die für die Arbeiten vorgesehenen Rüttelelemente/ -einheiten müssen in der Lage sein, durchwurzelte bis stark durchwurzelte (im wesentlichen Schilfwurzelwerk, untergeordnet geringstarkes Baumwurzelwerk) Bodenschichten zu durchdringen und zu verdichten. Vorzugsweise sind hierfür starre Rüttelelemente einzusetzen wie z. B. Rüttelbohlen die an Traversen befestigt sind. Mit diesen besteht die Möglichkeit Wurzelwerk zu durchtrennen und damit den darunter befindlichen Boden zu verdichten.

Auf die oberflächennahe Verdichtung folgt eine abschließende Uferprofilierung der Stützkörperoberfläche und der sich daran anschließenden seeseitigen Böschung. Die Profilierung der Uferböschungsfläche wird sowohl seeseitig (Bereiche unter +126 m NHN) als auch von Land aus realisiert. Für die seeseitige Profilierung (Höhenbereich +126 m NHN…+122,2 m NHN) wird amphibische Technik (Hydraulikbagger auf Amphibienfahrwerk) benötigt.

Die Auffüllung der 1 : 3-Böschung im Stützkörperniveau +126,0 m NHN ... +128,0 m NHN ist verdichtet aufzubauen. Dies erfolgt gemeinsam mit den landseitig auszuführenden Auffüllarbeiten im Stützkörperhinterland.

Nach der vollständigen Herstellung des RDV-Stützkörpers und Beendigung der oberflächennahen Rüttelverdichtung ist im Stützkörperhinterland eine Auffüllung der unterhalb der Höhenkote von +128,0 m NHN liegenden Geländeoberfläche zur Sicherstellung einer erdfeuchten Mindestüberdeckung von 2,0 m für den Hochwassereinstaufall (Stauniveau Z_H = +126,0 m NHN) herzustellen.

Für Teilbereiche (insbesondere im Bereich des Zeltplatzes) wird eine Auffüllung bis zum Niveau +129,0 m NHN erdstatisch notwendig, um eine ausreichende rechnerische Sicherheit für die abgeflachte Hochkippenböschung zu erhalten. Um zeitlich versetzt eintretende Eigensetzungen des Schüttmaterials auszugleichen, ist geplant, die Auffüllung um 0,2 m zu überhöhen. Damit wird sichergestellt, dass auch bei eintretenden Eigensetzungen bzw. Sackungen des (ohne spezielle Verdichtung) aufgetragenen Materials, eine erdfeuchte Überdeckung von mind. 2,0 m vorhanden ist. Entsprechend dieser Vorgehensweise verläuft die Auffüllgrenze somit auf der Höhenkote +128,2 m NHN.

Zur Vorbereitung des Auffüllbereiches sind alle innerhalb der Fläche befindliche Bäume und Gehölze zu entfernen. Neben der Holzung erfolgt im oberen Auffüllbereich bis zur Höhenkote +127,0 m NHN (bzw. im Niveau 2 m über dem Seewasserspiegel) die Rodung der Stubben. Die in den darunter liegenden Bereichen vorhandenen Stubben verbleiben im Baugrund und werden überschüttet. Um evtl. Auswirkungen auf die Geländeoberfläche durch beim Zersetzen der Stubben entstehende Hohlräume zu vermeiden, können diese mittels Stubbenfräse entfernt werden.

Im Rahmen der Baufeldfreimachung des aufzufüllenden Bereiches sind alle darin befindlichen Gebäude und baulichen Anlagen abzubrechen und zu beräumen. Der Rückbau der Bauwerke muss erschütterungsfrei erfolgen. Bei den Abbruch- und Beräumungsarbeiten ist die notwendige einzuhaltende erdfeuchte Überdeckung für die eingesetzte Technik sicherzustellen. Die für die Rückbauarbeiten einzusetzende Gerätetechnik soll dem Gewicht der einzusetzenden leichten Forsttechnik entsprechen (Gewicht < 10 t) und darf dieses nicht überschreiten.

Bei den Abbrucharbeiten darf die eingesetzte Gerätetechnik einen Grundwasserflurabstand von 2,0 m nicht unterschreiten.

Für tiefer liegende Bereiche ist eine gesonderte Konzeption für die Abbruchmaßnahmen zu erarbeiten.

Im Rahmen der Baufeldberäumung sind alle oberirdischen Bauwerke sowie Bauwerksteile und Installationen (z. B. Leitungen) zurückzubauen. Der Rückbau hat möglichst initialarm zu erfolgen; der Einsatz vibrierender Abbruchtechnik ist untersagt bzw. bedarf einer Einzelbewertung.

Gleichzeitig mit der Baufeldfreimachung im Bereich der Auffüllfläche erfolgt die Beräumung der Abtragsflächen auf der Hochkippe. Dabei ist der vorhandene Baumbewuchs vollständig zu holzen und dessen Wurzelwerk zu roden.

Nach der Baufeldfreimachung kann die Auffüllung des Stützkörperhinterlandes auf ein Oberflächenniveau von ≥ +128,0 m NHN…+129,0 m NHN erfolgen. Das eingebaute Material ist, soweit möglich, moderat verdichtet einzubauen (Geräteüberfahrten), um Eigensetzungen und/oder Sackungen auf ein minimales Maß zu beschränken. Zusätzlich wird über die gesamte Auffüllfläche eine Überhöhung von 0,2 m berücksichtigt, um dennoch eintretende Eigensetzungen weitestgehend ausgleichen zu können und eine erdfeuchte Mindestüberdeckung von $h_{ü} \geq 2{,}0$ m auch im Fall eines Maximaleinstaus im Speicherbecken sicherzustellen.

Im Bereich von Wegen oder anderen wiederherzustellenden Infrastruktureinrichtungen ist geplant, einen lagenweise verdichteten Aufbau der Auffüllmassen vorzunehmen.

Zeitgleich zu den Auffüllarbeiten sollen die Abtragsarbeiten in der im Hinterland liegenden Hochkippenböschung durchgeführt werden. Die dabei anfallenden Aushubmassen können bei entsprechender Eignung direkt als Auffüllmaterial in der Auffüllfläche im Stützkörperhinterland genutzt werden. Damit besteht die Möglichkeit, die Transportentfernungen und die damit verbundenen Umweltbelastungen gering zu halten.

Im Rahmen der Abtragsarbeiten sind auch die im Bereich befindlichen und temporär verlegten Medienleitungen zurückzubauen.

Nach Abschluss der Abtrags- und Auffüllarbeiten ist eine abschließende Profilierung vorzunehmen. Im Bereich der abgeflachten Hochkippenböschung ist vor Ausführung der Endprofilierung die Rückverlegung der Medien in den ehemaligen Korridor durchzuführen.

Sind die Profilierungsarbeiten abgeschlossen, können Rekultivierungsarbeiten ausgeführt werden. Entsprechend der derzeitigen Planung ist vorgesehen, dass alle Waldflächen wieder aufgeforstet werden. Ebenso sollen alle Schilfflächen wieder hergestellt werden.

In Abhängigkeit von einem Nachnutzungskonzept können Rekultivierungsmaßnahmen auch in den Flächen der Auffüllung im Stützkörperhinterland vorgenommen werden.

Für den Bereich außerhalb von Schilf- und Waldflächen ist als erster Schritt eine Nassansaat als Erosionsschutz vorgesehen.

Die vorstehend ausführlich beschriebenen Arbeiten zur Herstellung des Stützkörpers im nördlichen Teil des Knappensees (Bereich U) lassen sich in folgende Teilschritte gliedern:

1. Baufeldberäumung der Stützkörperoberfläche (Bewuchs: Schilf, Bäume)
2. Herstellung Fahrgraben (seeseitiger Aushub)
3. Vorsondierungen
4. RDV ohne Massenzugabe
5. Nachsondierungen
6. Auffüllung/Profilierung der Stützkörper (Neigung 1:15) mit zeitgleichem Aushub auf +122,2 m NHN im Bereich seeseitig der Uferböschung
7. Vorsondierungen (RS)
8. LRV
9. Nachsondierungen (RS)
10. Endprofilierung von Stützkörper und Vorfeld des Stützkörpers
11. Abriss Bebauung und Flächenberäumung
12. Holzung und Rodung im Bereich des Massenabtrages Hochkippe
13. Auffüllung im Höhenniveau bis +128 m NHN …+129 m NHN mit zeitgleichem Massenabtrag an der Hochkippe
14. Rekultivierung, Wiederherstellung des Bewuchses im Bereich der bearbeiteten Flächen (Bäume, Rasen, Schilf)

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 26: Mengenaufgliederung Bereich U – Variante 1

Bezeichnung	***Einheit***	***Menge***	***Hinweise***
Leistung: Beräumung und Abbruch			
Schilfmahd	ha	1,8	Amphibiengerät notwendig
Abtrag Wurzelboden	m³	17.000	Bagger auf Amphibienfahrwerk notwendig, Transport mittels Schuten
Holzung, Räumung manuell	ha	5,85	Höhenbereich ab Wasserspiegel bis Wasserspiegel +2 m (+127 m NHN)
Holzung, Räumung maschinell	ha	6,1	Höhenbereich ab Wasserspiegel +2 m (+127 m NHN)
Rodung	ha	6,1	Höhenbereich ab Wasserspiegel +2 m (+127 m NHN)
Abriss Bungalows	Stk.	79	
Abriss Massivgebäude	Stk.	7	inklusive Anbauten und Toilettengebäude

Bezeichnung	*Einheit*	*Menge*	*Hinweise*
Leistung: Erdbau			
Oberbodenabtrag	m³	14.700	
Massenabtrag Hochkippe	m³	86.000	
Massenauftrag Stützkörperhinterland	m³	132.500	
Aushub Graben	m³	58.000	
Auffüllung nach RDV	m³	91.000	
Aushub Seeboden	m³	26.500	Vertiefen der Seesohle auf +122,2 m NHN
Geländeprofilierung landseitig	m²	106.500	
Geländeprofilierung seeseitig	m²	38.500	entspricht der Fläche zwischen den Höhenbereich +122,2 m NHN…+126,0 m NHN
Leistung: Verdichtungsarbeiten			
RDV	m³	550.00	
LRV	m³	186.000	
Leistung: Rekultivierungsarbeiten			
Aufforstung	ha	2,9	
Schilfanpflanzung	ha	1,7	
Rasenansaat	m²	74.750	

Randbedingungen

Für die Durchführung der seeseitig geplanten Arbeiten (Schilfmahd, Beräumung durchwurzelte Massen, Massenabtrag zur Herstellung der Uferböschung, Auffüllung und Verdichtung) ist, um den für die eingesetzte Gerätetechnik notwendigen Tiefgang zu gewährleisten, das Einstellen eines möglichst hohen Wasserspiegels im Speicherbecken notwendig. Deshalb ist vorgesehen den Wasserspiegel für den Zeitraum der seeseitigen Sicherungsarbeiten im Niveau von +125,0 m NHN …+125,5 m NHN einzustellen.

Vor den landseitigen Erdbauarbeiten (Massenaufträge im Stützkörperhinterland und Massenabtrag im Bereich der Hochkippe) muss der uferparallel verlaufende RDV-Damm vollständig hergestellt sein.

Für den Zeitraum der Sicherungsarbeiten (dynamische Verdichtung und die anschließende Böschungsprofilierung inklusive der Arbeiten im Stützkörperhinterland) sind die Einrichtung und Durchsetzung des geotechnischen Sperrbereiches zwingend erforderlich, um eine Gefährdung unbeteiligter Dritter weitgehend auszuschließen.

Zum sicheren mehrmaligen Einbringen und Bergen von Geräten, für Reparaturzwecke und gegebenenfalls für Massenumlagerungen ist die vorhandene Einsetzstelle am gewachsenen Südufer im Bereich E zu nutzen.

Bei Holzungsarbeiten sind die entsprechenden gesetzlichen und genehmigungsrechtlichen Vorgaben einzuhalten. Ebenso ist der Schilfschnitt außerhalb der Vegetationszeit bzw. in der brutfreien Phase durchzuführen. Zur Beseitigung des Schilfbewuchses (Schilfmahd) sind entsprechende Spezialgeräte einzusetzen.

Während der Tiefenverdichtung ist eine Verankerung/Abstützung des Pontons auf dem Seeboden mittels einer für die auftretenden Kräfte geeigneten und ausreichend dimensionierten Vorrichtung notwendig. Darüber hinaus muss die Verankerung am Ponton konstruktiv so gestaltet sein, dass für den Fall einer Rutschung die Verankerung an Sollbruchstellen versagt und damit keine Gefahr für den gesamten RDV-Gerätekomplex entsteht und dessen Schwimmfähigkeit erhalten bleibt. Die entsprechende Eignung der eingesetzten Geräte ist durch die AN anhand üblicher Zertifikate nachzuweisen.

Vor Beginn der Sicherungsarbeiten ist die Umverlegung der Medien zur Versorgung Dritter außerhalb des Sperrbereiches umzusetzen.

Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)

Mit den im öffentlichen Raum durchzuführenden Maßnahmen der Gefahrenabwehr treten bei der Umsetzung der Sicherungsvarianten folgende Auswirkung auf Dritte sowie Natur und Umwelt auf:

- Vollständige Beseitigung des Bewuchses im Bereich der Verdichtungsflächen (Stützkörperbereich, Bereich der oberflächennahen Rüttelverdichtung, der Beräumungs-, Auftrags- und Abtragsflächen),
- durch den Abtrag der Kippenböden wird die Böschungsgeometrie in den Abtragsbereichen verändert,
- Einschränkung der Nutzung von Wasserfläche und Ufer (Sperrung und Nutzungsausfall, Außerbetriebnahme oder Umverlegung von Medien),
- Beeinträchtigung von Flora und Fauna,
- Technologisch bedingte Auswirkungen (wie Erschütterungseinträge durch Rütteldruckverdichtungsarbeiten),
- Innerhalb der ungesicherten Kippenflächen, d. h. im Sperrbereich, besteht Setzungsfließgefahr.
- Eine Rutschungsgefahr ist auch im Zusammenhang mit den Sicherungsarbeiten gegeben, es besteht die Möglichkeit, dass Kippenflächen und darauf befindliche bauliche Anlagen beschädigt werden.
- Lärm- und Staubemissionen im Zusammenhang mit der Bautätigkeit,
- Verkehrseinschränkungen in den Zufahrtsbereichen zur Baustelle und zur Einsetzstelle durch Baustellenverkehr,
- Temporäre Beeinträchtigung der Seewasserqualität (Trübung) durch die Arbeiten im See.

Mit der RDV erfolgt ein Energieeintrag in den Boden, dessen Ausbreitung im Untergrund unter Umständen zu Schäden an angrenzenden baulichen Objekten führen kann. Aus Erfahrungswerten von bereits durchgeführten und geotechnisch betreuten RDV-Maßnahmen können folgende Auswirkungsradien abgeschätzt werden:

- Als wahrscheinlich sind Schäden an Gebäuden und Objekten einzustufen (wenn keine schwingungsreduzierenden Maßnahmen ergriffen werden), die eine Entfernung von weniger als 50 m zum Schwingungseintrag aufweisen,
- Nicht auszuschließen sind Schäden an Gebäuden die sich in einem Entfernungsradius von 50 m bis 150 m zur Schwingungsquelle befinden. Insbesondere gilt dies für erschütterungsempfindliche Bauwerke.

Auf Grundlage der aufgeführten Punkte sind für Objekte bis 150 m Entfernung von der Rütteltrasse, vor Ausführung der dynamischen Verdichtungsarbeiten, Beweissicherungsmaßnahmen (Gebäudesubstanz, Gebäudekonstruktion, bauliche Vorschädigungen usw.) durch Gutachter auszuführen und eine Bewertung des für die Objekte spezifisch zulässigen Schwingungseintrages durchzuführen. Die Auswirkungen der RDV sind mittels einer baubegleitenden Beweissicherung (Setzungs- und Schwingungsmessungen) während der Ausführung zu überwachen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass Objekte, die auf Kippe gegründet sind, durch den Erschütterungseintrag auch nachträglich Setzungen erleiden können.

Tabelle 27: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich U – Sicherungsvariante 1

Beräumungsarbeiten	
Holzung	11,95 ha / in 8 Flurstücken
Waldflächen (Rodung)	3,6 ha
Beräumung (massiv)	7 Stk.
Beräumung Bungalow	79 Stk.
RDV – Einwirkung	
Betroffene Flurstücke Abstand bis 50 m	2 Flurstücke
Betroffene Flurstücke Abstand von 50 m bis 150 m	11 Flurstücke
Beweissicherung an Objekten	Verteilerwehr, Brücke
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich	3 Jahre
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	Außerbetriebnahme und Sicherung Trink- und Schmutzwasserleitung Energieversorgung, Rückbau Telekommunikationsleitungen
Objektsicherung	entfällt

Vorteile

- Geringes RDV-Volumen entsprechend der erdstatischen Erforderlichkeit, da für die Schwimmtechnik die Standsicherheit des RDV-Gerätes gegeben ist,
- Stützkörper befindet sich innerhalb des Uferböschungssystems,
- In Abhängigkeit der Ergebnisse des RDV-Tests wird davon ausgegangen, dass eine Materialzugabe nicht erforderlich wird,
- Der Eingriff im Böschungshinterland (Eingriff in den bebauten Bereich) wird auf das Notwendigste beschränkt (Ausnahme ist die Hochkippenböschung),
- Die Möglichkeit zur Massengewinnung ist durch die erdstatische Notwendigkeit der Böschungsabflachung im Bereich der Hochkippenböschung gegeben.

Nachteile

- Durch die vorhandene flach einfallende Seesohle ist für die Schwimmtechnik auch bei Einstau auf +125,5 m NHN keine ausreichende Wassertiefe vorhanden, die Herstellung eines Arbeitsgrabens ist erforderlich, dies bedeutet einen Aushub in verflüssigungsfähigem Material im Vorfeld der Sicherungsarbeiten - die Gefahr des Zufließens des Grabens beim Aushub und bei der RDV ist stets gegeben, treten Instabilitäten auf, so können diese auch größere Bereiche erfassen und u. U. ein Setzungsfließen verursachen,
- Die RDV-Technologie ist zwar bewährt, dennoch ist die seeseitige Umsetzung deutlich weniger häufig ausgeführt worden und birgt höhere technologische Risiken in sich,

- Wenn eine Materialzugabe notwendig wird, ist diese technologisch schwierig umsetzbar. Der dann erforderliche Einsatz eines pontongestützten Baggers und die notwendige Materialheranführung werden zusätzliche Kosten verursachen,
- Die seeseitige RDV ist aufgrund der zusätzlich erforderlichen Schwimmtechnik teurer gegenüber der landseitigen RDV,
- Durch die RDV werden Trübstoffe im See freigesetzt,
- Für die seeseitigen Arbeiten wird ein Wasserzugang benötigt, damit besteht eine starke Inanspruchnahme der vorhandenen Einsetzstelle,
- Der Massenabtrag in der Hochkippe ist erdstatisch erforderlich - dadurch entsteht ein zusätzlicher Eingriff in Natur und Privateigentum (Entschädigung der Aushubmassen an den Eigentümer),
- Ein hoher Anteil an seeseitigen Arbeiten ist gegeben, daraus resultiert ein höherer Anteil an Trübstoffeintrag (Aushub Graben, RDV, Auffüllung nach RDV- Herstellung Sollprofil durch Einspülen von Material, LRDV, Aushub Stützkörpervorland),
- Vor der RDV sind umfangreiche technologisch anspruchsvolle Abtragsarbeiten (Aushub durchwurzeltes Material, Aushub Arbeitsgraben) in der wassergesättigten ungesicherten Kippe auszuführen dies kann bei Instabilitäten unter Umständen zu zeitlichen Verzögerungen für die RDV führen,
- Im Stützkörperhinterland ist eine Auffüllung notwendig um für den Einstaufall Z_H = +126,0 m NHN eine ausreichende erdfeuchte Überdeckung von 2,0 m sicherzustellen,
- Nach der Fertigstellung der Auffüllung ist dieser Bereich nicht für eine Bebauung geeignet,
- Die Flächenbereiche der bestehenbleibenden Bungalowsiedlung und östlichen Flächen erfahren keine Änderung in der Baugrundsituation (Baugrund wird nach wie vor aus unverdichteter verflüssigungsgefährdeter Kippe gebildet).

Kosten

Für die Hauptgewerke der Variante 1 (seeseitige Herstellung des Stützkörpers) ergeben sich die in folgender Tabelle aufgeführten Kosten:

Tabelle 28: Kosten (Kostengruppen) Bereich U – Variante 1

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten [€]**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXXX
Erdbau	XXXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXXX
Summe netto	XXXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

6.4.2 Sicherungsvariante 2 – Versteckter Damm (landseitig, RDV und schonende SPV (sSPV))

Variantenbeschreibung (Geländeprofilierung, Standsicherheitsverhältnisse)

Eine Alternative zur seeseitigen Herstellung eines Stützkörpers im Bereich U bildet dessen landseitige Herstellung. Im Gegensatz zur seeseitigen Variante wird der Stützkörper weiter landseitig positioniert und weist aufgrund der erforderlichen Gerätestandsicherheit für die Herstellung eine größere Breite gegenüber einem seeseitig hergestellten Damm auf. Die zum See zeigende Stützkörpergrenze orientiert sich an der Höhenkote +128,0 m NHN. Bei der Herstellung des RDV-Dammes ist durch ausreichende Massenzugabe eine erdfeuchte Überdeckung für das RDV-Trägergerät von mind. 2,0 m für einen Seewasserspiegel von +125,5 m NHN sicherzustellen. Die Tiefenverdichtung wird über die gesamte Kippenmächtigkeit bis zum Liegenden der Kippe ausgeführt.

Der geplante landseitige Stützkörper schließt sich an der Ostseite (mit Anpassungen) an den bereits in der Bauphase 1 im Uferabschnitt T herzustellenden RDV-Körper an.

Die Oberfläche des Stützkörpers liegt im Niveau von ca. +128 m NHN…+132 m NHN. Diese Oberfläche soll keine wesentlichen Höhenänderungen nach der RDV erhalten. Eine Ausnahme bildet der östliche Bereich, der ein derzeitiges Höhenniveau von ca. +126 m NHN…+128 m NHN aufweist, wo für den Bereich der Trägergerät-Fahrtrasse eine Auffüllung auf mindestens +128 m NHN vorgenommen werden muss.

Nach Beendigung der RDV erfolgt an der Stützkörperoberfläche eine Nachverdichtung des oberflächennahen Bereiches mittels Vibrationswalze.

Bis zur Uferlinie erfolgt im Vorfeld des Stützkörpers eine Verdichtung der Kippenböden bis zum Niveau +116 m NHN. Damit wird ein schwebender Stützkörper hergestellt, der seeseitig direkt an den eigentlichen komplett verdichteten Stützkörper anschließt. Dieser wird bis zur geplanten Böschungsschulter der Uferböschung, die sich an der bestehenden Höhenkote +126,0 m NHN orientiert, ausgeführt (siehe Abbildung 9).

Ausgehend von der Höhenkote +126,0 m NHN ist die Herstellung der Uferböschung mit einer Neigung von 1:15 geplant, welche gleichzeitig die hydromechanisch erforderliche Ausgleichsneigung für den Uferbereich darstellt und im See bis zum Höhenniveau +122,2 m NHN (entspricht Z_A – 2 m) geführt wird. Diese 57 m breite Uferböschung wird mittels oberflächennaher Rüttelverdichtung (LRV) bis in 4 m Tiefe verdichtet.

Die im Vorland der Uferböschung noch über dem Niveau von +122,2 m NHN vorhandenen Massen werden abgetragen, und somit wird auch für den Niedrigeinstau (Z_A = +124,2 m NHN) eine ausreichende Wassertiefe von 2,0 m sichergestellt.

Eine schematische Darstellung des geplanten RDV-Stützkörpers zeigt das Regelprofil in der nachfolgenden Abbildung.

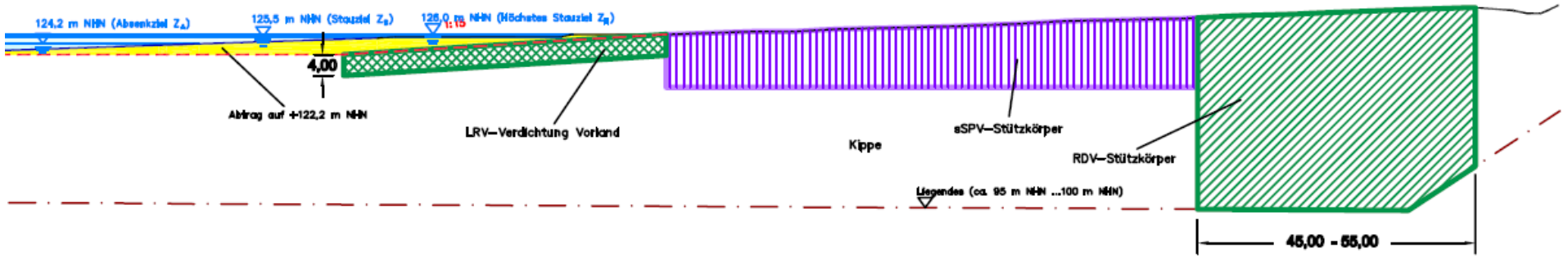

Abbildung 9: Regelprofil landseitiger Stützkörper im Bereich U – Variante 2 (RDV+ Schonende SPV)

Durch Anordnung des Stützkörpers im Bereich des Böschungsfußes der Hochkippe wird kein Eingriff/Abtrag in diese Böschung erforderlich. Auch für den Lastfall Verflüssigung ist für die Hochkippenböschung bei diesem nah am Böschungsfuß positionierten Stützkörper eine ausreichende rechnerische Sicherheit nachweisbar.

Die Sicherung der im westlichen Teilabschnitt des Abschnittes U an das gewachsene Böschungssystem angeschütteten Kippenböden ist in gleicher Weise wie bei der seeseitigen Stützkörpervariante (Variante 1) geplant und erfolgt mittels einer mindestens 4 m tiefen oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV). Ebenso ist in diesem Bereich keine Schilfmahd bzw. Beseitigung des Schilfbewuchses vorgesehen. Eine darüber hinausgehende Sicherung oder Profilierung ist für diesen Uferbereich nicht geplant.

Die Aussagen hinsichtlich der Standsicherheit der Uferböschung und des anschließenden Hinterlandes am Nordufer am Knappensee (Bereich U) im vorhandenen Ist-Zustand gelten gleichlautend den in Kapitel 6.4.1 dargelegten Ausführungen.

Durch die Herstellung des landseitig angeordneten Stützkörpers („Versteckter Damm“) kann für den Lastfall Verflüssigung im Bereich des Stützkörpers und der sich hinterlandseitig anschließenden Hochkippenböschung eine ausreichende rechnerische Sicherheit nachgewiesen werden. Durch den Damm wird die Gefahr eines Setzungsfließens sowie eines Geländebruchs infolge Verflüssigung der Hochkippenböschung wirksam verhindert.

Im Stützkörpervorland ist, im Ergebnis der Standsicherheitsberechnungen, eine Verdichtung der locker gelagerten Kippenböden bis zum Niveau +116,0 m NHN erforderlich, um eine ausreichende rechnerische Sicherheit ermitteln zu können.

An das Stützkörpervorland schließt sich seeseitig die Uferböschung an. Diese ist, ausgehend von der Höhenkote +126 m NHN, mit einer Neigung von 1:15 bis zum Niveau +122,2 m NHN geplant. Eine Sicherung dieser Böschung wird mittels einer mindestens 4 m tiefen oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) realisiert.

Mit den beschriebenen Maßnahmen kann für die gesamte Uferböschung einschließlich der Hochkippenböschung im Stützkörperhinterland für den Lastfall Verflüssigung eine ausreichende rechnerische Sicherheit ermittelt werden.

Technologische Umsetzung

Auch bei landseitiger Herstellung des RDV-Stützkörpers erfolgt zu Beginn der Arbeiten die Beräumung im Bereich der Verdichtungsflächen und des Stützkörpervorlandes. Dies schließt das Abtragen/Beseitigen der vorhandenen Bauwerke (Bungalows, Wege, Befestigungen, etc.) und die vollständige Entfernung des vorhandenen Bewuchses ein. Die Abbruch- und Beräumungsarbeiten erfolgen landseitig. Zur Minimierung der Lasteinträge werden für diese Arbeiten Gerätevorgaben und entsprechenden Verhaltensanforderungen formuliert, die strikt einzuhalten sind.

Die notwendigen Holzungsarbeiten werden in Abhängigkeit vom Höhenniveau der zu bearbeitenden Fläche maschinell bzw. manuell ausgeführt. Für die maschinellen Holzungsarbeiten ein Grundwasserflurabstand von mindestens 2,0 m sicherzustellen. Dieser Wert gilt auch für die Rodungsarbeiten. In den Flächenbereichen mit einem geringeren Grundwasserflurabstand können die Fällarbeiten nur manuell ausgeführt werden. Die gefällten Bäume (Stammmaterial) können unter Zuhilfenahme von Winden, die an der maschinellen Holzungsgrenze stationiert sind, geborgen werden. Für die manuellen Holzungsarbeiten gilt die Uferlinie als Begehbarkeitsgrenze. Bäume die innerhalb der Wasserfläche stehen, können nur mit Hilfe eines Amphibiengerätes geholzt und beräumt werden. Rodungsarbeiten finden in den Flächenbereich der manuellen Holzung nicht statt. Gegebenenfalls können diese nach der Verdichtung des Stützkörpervorlandes gerodet oder mit der Stubbenfräse beseitigt werden.

Die Einschränkungen bzgl. des Technikeinsatzes gelten in gleicher Weise für die in der Bebauung vorzunehmenden Abbrucharbeiten.

Im Zuge der Beräumungsarbeiten erfolgt gleichzeitig die Vorbereitung der Fahrtrasse für das RDV-Trägergerät. Hierbei wird eine Einebnung der vorhandenen Morphologie vorgenommen und die für den Raupenkran höchstzulässige Neigung der Fahrtrasse (in Längs- und Querrichtung) hergestellt. Das dazu benötigte Material kann aus Zugabematerial bestehen, wobei sich der Massenbedarf entsprechend vergrößert. Bei der Abarbeitung der Rüttelpunkte ist geplant, dass sich das Trägergerät (Raupenkran) entlang der Stützkörpermittelachse bewegt und alle Punkte über die mögliche Auslage des Kranauslegers ansteuert. Somit ist nur für diesen zentralen Stützkörperbereich eine ebene und den Anforderungen des Raupenkranes genügende Fahrtrasse herzustellen. Deren Breite ist entsprechend den Abmessungen und Lichtraumbreiten des Trägergerätes unter Berücksichtigung eines Sicherheitszuschlages und Beachtung des Begegnungsverkehrs durch den massenzuführenden Radlader zu wählen.

Für den Übergangsbereich zum Abschnitt T und den bereits in der Bauphase 1 hergestellten Stützkörper werden, um ein Höhenniveau von mind. +128,0 m NHN und damit eine für das Trägergerät ausreichende erdfeuchte Überdeckung zu erhalten, Auftragsarbeiten erforderlich. In dieser Planungsphase wird davon ausgegangen, dass die gesamte Stützkörperfläche im Übergangsbereich angehoben wird, um auch in den seitlichen Bereichen, die mit der Auslage des Trägergerätes erreichbar sind, die Zuführung von Zugabemassen realisieren zu können. Eine genaue Planung der Ausbildung des Übergangsbereiches zum seeseitig hergestellten Stützkörper im Abschnitt T muss in den weiteren Planungsschritten betrachtet werden.

Sind die vorbereitenden Arbeiten (Beräumung, Holzung, Rodung etc.) abgeschlossen, kann mit der Rütteldruckverdichtung zur Herstellung des landseitigen Stützkörpers begonnen werden. Gearbeitet wird beginnend ab der Startposition im Bereich der im Westen liegenden Grenze Gewachsenes/Kippe und davon fortschreitend in Richtung Osten. Die erforderliche Breite zum Nachweis der Gerätestandsicherheit beträgt zwischen 45 m…55 m. Um das Niveau der Geländeoberfläche weitgehend zu erhalten, erfolgt die Rütteldruckverdichtung unter Zugabe von sandigem Material (RDV mit Massenzugabe). Technologisch wird diese Zugabe mittels Radlader realisiert, der die Zugabemassen im Bereich des Rüttelansatzpunktes zuführt. Der Radlader arbeitet direkt am Rüttelpunkt. Entsprechende Sicherheitsvorgaben und Verhaltensanforderungen sind für diese Tätigkeit aufzustellen.

Für die RDV mit Massenzugabe ist das Bereitstellen von sandigem Material notwendig. Die erforderlichen Zugabemassen sind nicht im Baubereich vorhanden und müssen durch Fremdmassen und/oder durch aus in anderen Bauabschnitten gewonnenen Abtragsmassen zugeführt werden. Der Antransport dieser Massen erfolgt über die Bundesstraße B96 und von dieser abgehend über die Zufahrt zum Verteilerwehr/Bungalowsiedlung bis zur Fahrtrasse des Trägergerätes. Die Entladung der Massen erfolgt stets auf bereits verdichteter Fläche in ausreichendem Abstand hinter dem Trägergerät. Von diesen fortschreitenden Entladepunkten werden die Massen durch den Zugaberadlader aufgenommen und zum Rüttelpunkt transportiert. Dabei bewegt sich der Radlader hinter, neben und vor dem Trägergerät bis zur Rüttellanze. Eine Befahrung oder Positionierung des Radladers vor der Rüttellanze auf unverdichtetem Gebiet ist nicht zulässig.

Obwohl sich alle RDV-Ansatzpunkte an Land befinden und damit vermessungstechnisch absteckbar sind, wird zur Umsetzung der Sicherheitsfahrweise und der intermittierenden Abarbeitung der RDV-Ansatzpunkte das Anfahren der Rüttelpunkte mittels GPS-System als erforderlich erachtet. Das „Anfahren“ der einzelnen Rüttelansatzpunkte mit der Rüttellanze (Positionierung der Lanze) erfolgt mit einer automatischen Steuerung. Neben den technischen Geräteparametern des Rüttelprozesses ist auch die Abarbeitungsreihenfolge elektronisch aufzuzeichnen und entsprechend zu protokollieren.

Ebenso wie bei der seeseitigen Rütteldruckverdichtung wird bei ihrer landseitigen Ausführung die Sicherheitsfahrweise mit Einhaltung von Pausen zum Abbau von Porenwasserdrücken und einer zusätzlichen PWD-Überwachung angewendet.

Nach vollständiger Verdichtung des RDV-Dammes erfolgt die Sicherung des Stützkörpervorlandes. Diese wird in Form einer Verdichtung der Kippenböden bis zum Niveau +116 m NHN realisiert und damit ein schwebender Verdichtungskörper vor dem Versteckten Damm hergestellt.

Die Verdichtung des Stützkörpervorlandes kann in zwei unterschiedlichen Ausführungsvarianten erfolgen.

Eine Ausführungsart sieht die Verdichtung der Kippenböden mittels „Schonender Sprengverdichtung (sSPV)“ vor (Untervariante 1). Alternativ dazu kann die Vorlandsicherung auch mittels RDV hergestellt werden (Untervariante 2).

Im Folgenden sollen diese Untervarianten näher beschrieben werden.

Variante 2 (Untervariante 1) zur Herstellung der Vorfeldsicherung mittels „Schonender SPV (sSPV)“: Kommt die SPV in Form der Schonenden Sprengverdichtung zur Anwendung, wird das Stützkörpervorland im Unterschied zur herkömmlichen SPV, mittels gering dimensionierten Sprengladungen verdichtet. Dies erfolgt, indem zunächst mit einem kleinen/leichten Gerät die Bohrlöcher zum Einbringen der Ladung hergestellt werden. Um eine Vergleichmäßigung zu erzielen und ungewollte Geländeverschiebungen zu begrenzen, werden zusätzlich mit dem Bohrgerät konzentrisch um das Sprengbohrloch Perforationsbohrungen angeordnet und hergestellt. Über diese Bohrungen kann sich der bei der Verflüssigung einstellende Porenwasserüberdruck abbauen. Damit werden unkontrollierte Wasseraustritte weitgehend vermieden, eine Entspannung des Porendruckes bewirkt und ein gleichmäßiges Setzungsbild angestrebt.

Die Ausführung der Vorlandsicherung ist nach vollständiger Ausführung der RDV von Ost nach West vorgesehen. Damit besteht die Möglichkeit, mit Hilfe der messtechnischen und geotechnischen Überwachung, Anpassungen im Sprengregime sowie der Ladungsdimensionierung vorzunehmen und somit eine Minimierung der Schwinggeschwindigkeiten und damit möglicher schädlicher Beeinflussungen zu erreichen.

Nach Abschluss der Verdichtungsarbeiten erfolgt eine Profilierung und Einebnung der bearbeiteten Fläche. In Abhängigkeit vom Nachnutzungskonzept kann eine Verdichtung der Oberfläche mittels Vibrationswalze erfolgen. Gegebenenfalls kann bei dieser Ausführungsvariante durch das größere Verdichtungsraster gegenüber der RDV und in Abhängigkeit vom Konzept der geplanten Nachnutzung, der vorhandene locker Baumbewuchs erhalten und somit der Eingriff in die Flora minimiert werden.

Ergänzend sei an dieser Stelle angemerkt, dass die „Schonende Sprengverdichtung“ zurzeit im Rahmen von Großversuchen von der LMBV mbH intensiv untersucht wird. In diesen Versuchen werden die Dimensionierungs- und Realisierungsparameter sowie die damit erzielbaren Verdichtungsergebnisse untersucht. Diese Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen, erste positive Ergebnisse lassen eine Anwendbarkeit dieses Verfahren auch für die Vorfeldsicherung des Stützkörpervorlandes im Bereich U am Knappensee als prinzipiell denkbar erscheinen.

Variante 3 (Untervariante 2) zur Herstellung der Vorfeldsicherung (RDV):

Wird die Vorfeldsicherung, d. h. die Verdichtung der Kippenböden mittels RDV ausgeführt, so erfolgt auch dies im Anschluss an den fertiggestellten Stützkörper. Hierfür wird der Rüttler auf das geringere erforderliche Längenmaß rückgerüstet und über die damit größere mögliche Auslage des Trägergerätes die Ansatzpunkte im Vorland angefahren. In Abhängigkeit vom Trägergerät kann von einer Auslage bis zu ca. 50 m ausgegangen werden. Um den Bereich zwischen der Schulter der Uferböschung und dem Stützkörper bearbeiten zu können, ist es erforderlich, das Trägergerät bis an die seeseitige Grenze (unter Berücksichtigung einer einzuhaltenden Vorlandbreite zur Außenkante) zu positionieren.

Ab dem mittleren Stützkörperabschnitt bis hin zum Übergangsbereich zum Abschnitt T können die vor dem Stützkörper liegenden Vorland-RDV-Ansatzpunkte mit der verfügbaren Auslage des Trägergerätes, bereits vom hergestellten Damm aus, erreicht werden. Für den Übergangsbereich werden jedoch Auffüllarbeiten zur Herstellung einer Fahrtrasse im Niveau +128,0 m NHN bis zur Annäherungsgrenze an die seeseitige Stützkörperkante notwendig. Diese kann nach Abschluss der Arbeiten im Nachgang wieder rückgebaut und das ursprüngliche Geländeniveau hergestellt werden.

Im westlichen und mittleren Stützkörperabschnitt (ca. Station 0+000 bis 0+350) wird für diese Ausführungsvariante eine Verbreiterung des Versteckten Dammes notwendig, um mit der erreichbaren Auslage (angenommen 50 m) das gesamte Vorland bis zur Höhenkote +126,0 m NHN bearbeiten zu können. Dadurch vergrößert sich Fläche für den RDV-Stützkörper um ca. 11.300 m² bzw. dessen Volumen um ca. 373.000 m³.

Nachfolgend der Rütteldruckverdichtung und der Vorfeldsicherung erfolgen eine abschließende Profilierung und eine oberflächennahe Verdichtung der Stützkörperoberfläche mittels Vibrationswalze. Auch im Bereich der Vorfeldsicherung kann in Abhängigkeit vom Nachnutzungskonzept eine Verdichtung der Oberfläche mittels Vibrationswalze erfolgen.

Im Übergangsbereich zum Abschnitt T ist im Stützkörperhinterland eine Fläche mit einem Niveau < +128,0 m NHN vorhanden. Im Rahmen der Profilierung der Stützkörperoberfläche erfolgt für diesen Flächenbereich eine Anhebung des Geländeniveaus auf +128 m NHN und damit Herstellung einer mind. 2 m mächtigen erdfeuchten Überdeckung gegenüber dem Maximaleinstau (Z_H = +126,0 m NHN) im Speicherbecken.

Nach Abschluss der Arbeiten im Bereich des Stützkörpers sowie im Bereich des Stützkörpervorlandes beginnt die Herstellung der Uferböschung, die eine Neigung entsprechend des hydromechanischen Ausgleichprofils von 1:15 erhält. Zu Beginn sind hierfür die Entfernung des vorhandenen Bewuchses (Schilfmahd) und die Beseitigung von evtl. vorhandenem Baumbewuchs im Bereich der geplanten Uferböschung erforderlich. Die Arbeiten zur Baufeldberäumung in diesem Bereich erfolgen seeseitig. Für die Schilfmahd sowie die Abtragsarbeiten wird amphibische Gerätetechnik notwendig.

Ist der Bewuchs vollständig entfernt, erfolgt die Herstellung der Uferböschung, indem der vorhandene Seeboden abgetragen und eine Uferneigung von 1:15 profiliert wird. Im Nachgang der Profilierung wird diese Böschung mittels oberflächennaher Rüttelverdichtung (LRV) mit einer Mächtigkeit von mind. 4 m verdichtet. Da eine Verdichtung der lockeren Massen und damit eine Absenkung der Oberfläche erfolgt, ist die Profilierung um die erwarteten Absenkungsbeträge unter Berücksichtigung eines Sicherheitsaufschlages (ca. 0,5 m) höher auszuführen.

Für die Durchführung der oberflächennahen Rüttelverdichtung ist amphibische Gerätetechnik notwendig, die sowohl auf See als auch auf Land operieren kann. Damit sollen evtl. zu erwartende Wasserspiegelschwankungen im Speicherbecken keinen wesentlichen Einfluss auf die Ausführung der Arbeiten nehmen. Die Verdichtungsarbeiten erfolgen streifen- bzw. segmentweise senkrecht zur Uferlinie. Begonnen wird mit der Verdichtung an der seeseitigen Böschungskante bzw. der Höhenkote Z_A – 2,0 m = +122,2 m NHN und dann fortschreitend in Richtung Ufer.

Die für die Arbeiten vorgesehenen Rüttelelemente/ -einheiten müssen in der Lage sein, durchwurzelte bis stark durchwurzelte (im wesentlichen Schilfwurzelwerk, untergeordnet geringstarkes Baumwurzelwerk) Bodenschichten zu durchdringen und zu verdichten. Vorzugsweise sind hierfür starre Rüttelelemente einzusetzen wie z. B. Rüttelbohlen die an Traversen befestigt sind. Mit diesen besteht die Möglichkeit Wurzelwerk zu durchtrennen und damit den darunter befindlichen Boden zu verdichten.

Ausgehend von dem unter der Wasseroberfläche im Höhenniveau +122,2 m NHN liegenden Böschungsfuß der Uferböschung werden die seeseitig vorhandenen und über diesem Höhenniveau lagernden Seesohlenbereiche abgetragen und somit in diesem Bereich ein einheitliches Seesohlniveau von +122,2 m NHN hergestellt. Realisiert wird der Massenabtrag mittels Baggertechnik. Dieser ist sehr flächig ausgeprägt und weist geringe Abtragsmächtigkeiten auf, die sich ausgehend von ca. 1 m auf 0 m verringern. Hieraus ergibt sich, dass für diese Arbeiten ein Saugspülbagger einzusetzen ist. Die abgebaggerten Massen können, eine Eignung vorausgesetzt, in benachbarten Uferabschnitten Verwendung finden und dort angespült werden.

Alternativ zum Massenabtrag und der Herstellung der hydromechanischen Ausgleichsböschung kann die vorhandene Böschung mit der sehr flachen Neigung auch beibehalten werden – dies stellt eine Variante 4 zur Ufersicherung der Kippenböden im nördlichen Uferabschnitt dar. Zur Herstellung der Trittsicherheit ist der Seeboden bis zum Niveau +122,2 m NHN mittels oberflächennaher Verdichtung zu verdichten. Damit könnten die umfangreichen und zeitaufwendigen seeseitigen Massenabträge entfallen. Demgegenüber steht jedoch eine deutliche Vergrößerung des RDV-Volumens. Für diese Herstellungsmöglichkeit wird in der Variante 4 auch eine Kostenabschätzung vorgenommen. Ein nicht zu vernachlässigender positiver Aspekt dieser Variante stellt sich im Verzicht von seeseitigen Abtragsarbeiten dar. Damit können sehr zeitintensive und im Falle der Abtragsarbeiten zur Herstellung der 1:15 geneigten Uferböschung auch technologisch anspruchsvolle Arbeitsschritte entfallen. Demgegenüber steht jedoch eine deutliche Vergrößerung des LRV-Volumens. Sollte diese Variante in Betracht kommen, so können in den folgenden Planungsschritten Möglichkeiten zur Verringerung des LRV-Volumens untersucht werden. Aus geotechnischer Sicht besteht die Möglichkeit, in Abhängigkeit des erdstatischen Erfordernisses, die notwendige Mächtigkeit des LRV-Körpers zur Sicherstellung der Trittsicherheit abhängig von der Wassertiefe zu wählen. So ist beispielsweise denkbar, dass (eine ausreichende erdstatische Sicherheit vorausgesetzt) ab einem Niveau der Seesohle von +123,2 m NHN und bei Beibehaltung der vorhandenen Morphologie eine Verdichtungsteufe von 2 m eine ausreichende Trittsicherheit sicherstellen kann.

Sind die Profilierungsarbeiten abgeschlossen können Rekultivierungsarbeiten ausgeführt werden. Entsprechend der derzeitigen Planung ist vorgesehen, dass alle Schilfflächen zum Uferschutz wieder hergestellt werden. Ebenso sollen alle Waldflächen wieder aufgeforstet werden.

In Abhängigkeit von einem Nachnutzungskonzept können Rekultivierungsmaßnahmen auch in den Flächen der Auffüllung im Stützkörperhinterland vorgenommen werden.

Für den Bereich außerhalb von Schilf- und Waldflächen ist als erster Schritt eine Nassansaat als Erosionsschutz vorgesehen.

Im Bereich des landseitigen bis zur Kippenbasis verdichteten Stützkörpers besteht die Möglichkeit einer Bebauung mit Bungalowgebäuden und der dazugehörigen Infrastruktur.

Die vorstehend ausführlich beschriebenen auszuführenden Arbeiten zur Herstellung des Stützkörpers im nördlichen Teilbereich lassen sich in folgende Teilschritte gliedern:

1 Baufeldberäumung im Bereich des Stützkörpers und des Stützkörpervorfeldes (Gebäude, Medien, Bewuchs)

2 Vorsondierungen

3 Herstellung Fahrtrasse (Einebnung, Auffüllung im östlichen Bereich)

4 RDV mit Massenzugabe (Antransport und Zugabe von Massen)

5 Nachsondierungen

6 Vorfeldsicherung (mittels „schonendem Sprengen“ oder RDV mit Massenzugabe)

7 Profilierung der Stützkörperoberfläche und Verdichtung mittels Vibrationswalze, Auffüllung zur Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung im Übergangsbereich zu T

8 Beräumung der Uferböschung (Schilfschnitt, Aushub durchwurzelter Boden)

9 Aushub der Uferböschung (Herstellung einer Böschungsneigung 1 : 15)

10 Vorsondierungen (RS)

11 LRV

12 Nachsondierungen (RS)

13 Endprofilierung der Uferböschung und Aushub der Massen im Vorland der profilierten Böschung

14 Rekultivierung, Wiederherstellung Bewuchs (Bäume, Rasen, Schilf)

15 Vorbereitung für Bebauung (Medien, Wege, etc.)

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 29: Mengenaufgliederung Bereich U – Variante 2

Bezeichnung	***Einheit***	***Menge***	***Hinweise***
Leistung: Beräumung und Abbruch			
Holzung, Räumung manuell	ha	2,7	Höhenbereich bis Wasserspiegel +2 m (+127 m NHN), kein durchgehender Wald, teilw. lockerer Bewuchs
Holzung, Räumung maschinell	ha	5,6	Höhenbereich ab Wasserspiegel +2 m (+127 m NHN), kein durchgehender Wald, teilw. lockerer Bewuchs
Rodung	ha	5,6	Höhenbereich ab Wasserspiegel +2 m (+127 m NHN), kein durchgehender Wald, teilw. lockerer Bewuchs
Abriss Bungalows	Stk.	79	alle Bungalows + Gaststätte Fischereihütte
Abriss Massivgebäude	Stk.	7	inkl. Nebenbauwerke (Schuppen, Baracken, etc.) mit Rückbau Toilettengebäude
Schilfmahd	ha	2,4	Amphibiengerät notwendig
Abtrag Wurzelboden	m³	24.000	Bagger auf Amphibienfahrwerk notwendig, Transport mittels Schuten
Leistung: Erdbau			
Oberbodenabtrag /-auftrag	m³	4.000	Oberbodenabtrag nur im Bereich des ehemaligen Zeltplatzes (von der angegebenen Fläche sind die Flächen von Wegen und sonstigen Befestigungen noch abzuziehen)
Herstellung Fahrtrasse RSV-Raupenkran	m³	7.500	Anliefern und Einbauen von Material zur Herstellung der Fahrtrasse (Material wie Zugabematerial)
Massenauftrag östlicher Stützkörperbereich	m³	23.000	Massenauftrag zum Herstellen eines Oberflächenniveaus von +128 m NHN im Stützkörperbereich sowie dessen Hinterland (östlicher Bereich)
Herstellung Uferböschung /Aushub	m³	24.000	Massenaushub zur Herstellung der Uferböschung Neigung 1:15
Aushub Seeboden	m³	69.000	Vertiefen der Seesohle auf +122,2 m NHN
Geländeprofilierung landseitig	m²	78.300	Bereich Stützkörper und Stützkörpervorland
Geländeprofilierung seeseitig	m²	40.500	entspricht der Fläche zwischen den Höhenbereich +122,2 m NHN…+126,0 m NHN
Leistung: Verdichtungsarbeiten			
RDV	m³	1.250.000	
Schonende SPV	m³	410.000	
LRV	m³	178.300	
Leistung: Rekultivierungsarbeiten			
Aufforstung	ha	1,8	nur östlicher Campingplatzbereich
Schilfanpflanzung	ha	2,4	Herstellen der Schilfflächen
Rasenansaat	m²	56.500	in Abhängigkeit der Nachnutzung, zunächst für den gesamten Profilierungsbereich bis zur Uferlinie angenommen

Tabelle 30: Mengenaufgliederung Bereich U – Variante 3

Bezeichnung	***Einheit***	***Menge***	***Hinweise***
Leistung: Beräumung und Abbruch			
Holzung, Räumung manuell	ha	2,7	Höhenbereich ab Wasserspiegel bis Wasserspiegel +2 m (+127 m NHN), kein durchgehender Wald, teilweise lockerer Bewuchs
Holzung, Räumung maschinell	ha	5,6	Höhenbereich ab Wasserspiegel +2 m (+127 m NHN), kein durchgehender Wald, teilweise lockerer Bewuchs
Rodung	ha	5,6	Höhenbereich ab Wasserspiegel +2 m (+127 m NHN), kein durchgehender Wald, teilweise lockerer Bewuchs
Abriss Bungalows	Stk.	79	alle Bungalows + Gaststätte Fischereihütte
Abriss Massivgebäude	Stk.	7	inkl. Nebenbauwerke (Schuppen, Baracken, etc.) mit Rückbau Toilettengebäude
Schilfmahd	ha	2,4	Amphibiengerät notwendig
Abtrag Wurzelboden	m³	24.000	Bagger auf Amphibienfahrwerk notwendig, Transport mittels Schuten
Leistung: Erdbau			
Oberbodenabtrag /-auftrag	m³	4.000	Oberbodenabtrag nur im Bereich des ehemaligen Zeltplatzes (von der angegebenen Fläche sind die Flächen von Wegen und sonstigen Befestigungen noch abzuziehen)
Herstellung Fahrtrasse RDV-Raupenkran	m³	13.000	Anliefern und Einbauen von Material zur Herstellung der Fahrtrasse (Material wie Zugabematerial)
Massenauftrag östlicher Stützkörperbereich	m³	23.000	Massenauftrag zum Herstellen eines Oberflächenniveaus von +128 m NHN im Stützkörperbereich sowie dessen Hinterland (östlicher Bereich)
Massenauftrag mittlerer Stützkörperbereich	m³	5.600	Massenauftrag zum Herstellen eines Oberflächenniveaus von +128 m NHN im Stützkörperbereich sowie dessen Hinterland (östlicher Bereich)
Herstellung Uferböschung /Aushub	m³	24.000	Massenaushub zur Herstellung der Uferböschung Neigung 1:15
Aushub Seeboden	m³	69.000	Vertiefen der Seesohle auf +122,2 m NHN
Geländeprofilierung landseitig	m²	78.300	Bereich Stützkörper und Stützkörpervorland
Geländeprofilierung seeseitig	m²	40.500	entspricht der Fläche zwischen den Höhenbereich +122,2 m NHN…+126,0 m NHN
Leistung: Verdichtungsarbeiten			
RDV	m³	1.650.000	
Vorland RDV	m³	290.000	
LRV	m³	178.300	
Leistung: Rekultivierungsarbeiten			
Aufforstung	ha	1,8	nur östlicher Campingplatzbereich
Schilfanpflanzung	ha	2,4	Herstellen der Schilfflächen
Rasenansaat	m²	56.500	in Abhängigkeit der Nachnutzung, zunächst für den gesamten Profilierungsbereich bis zur Uferlinie angenommen

Randbedingungen

Um eine Gefährdung Dritter weitgehend auszuschließen, sind für den Zeitraum der Sicherungsarbeiten die Einrichtung und Durchsetzung des geotechnischen Sperrbereiches zwingend erforderlich.

Vor Beginn der Arbeiten zur landseitigen Tiefenverdichtung muss das Baufeld (Stützkörperfläche sowie dessen Vorland) vollständig beräumt werden.

Der seeseitige Stützkörper im Bereich T muss vor dem aus dem Bereich U herangeführten landseitigen Stützkörper hergestellt sein, damit dieser ein Widerlager für die landseitige RDV bilden kann.

Zur Durchführung der seeseitig geplanten Arbeiten (Schilfmahd, Beräumung durchwurzelte Massen, Massenabtrag zur Herstellung der Uferböschung, Auffüllung und Verdichtung) ist das Einstellen eines möglichst hohen Wasserspiegels im Speicherbecken notwendig, um den für die eingesetzte Gerätetechnik notwendigen Tiefgang sicherzustellen.

Deshalb ist vorgesehen den Wasserspiegel für den Zeitraum der seeseitigen Sicherungsarbeiten im Niveau von +125,0…+125,5 m NHN einzupegeln.

Zum sicheren mehrmaligen Ein- und Ausheben von Geräten, für Reparaturzwecke und gegebenenfalls für Massenumlagerungen ist die vorhandene Einsetzstelle am gewachsenen Südufer im Bereich E zu nutzen.

Bei Holzungsarbeiten sind die entsprechenden gesetzlichen und genehmigungsrechtlichen Vorgaben einzuhalten. Ebenso ist der Schilfschnitt außerhalb der Vegetationszeit bzw. in der brutfreien Phase (Winterzeitraum) durchzuführen. Zur Beseitigung des Schilfbewuchses sind entsprechende Spezialgeräte einzusetzen.

Für die Holzungs- und Beräumungsarbeiten gelten, in Abhängigkeit von der erdfeuchten Überdeckung besondere Vorgaben und Verhaltensanforderungen.

Für die geplante landseitige RDV ist ein ausreichend dimensioniertes Trägergerät (Raupenkran) einzusetzen.

Für die seeseitig eingesetzte Gerätetechnik ist deren Schwimmfähigkeit und entsprechende Eignung durch die AN anhand üblicher Zertifikate nachzuweisen.

Vor Beginn der Sicherungsarbeiten ist die Umverlegung der Medien zur Versorgung Dritter außerhalb des Sperrbereiches umzusetzen.

Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)

Mit den im öffentlichen Raum durchzuführenden Maßnahmen der Gefahrenabwehr sind bei der Umsetzung der Sicherungsvarianten folgende Auswirkung auf Dritte sowie Umwelt und Natur auf:

- Vollständige Beseitigung des Bewuchses im Bereich der Verdichtungsflächen (Stützkörperbereich, Vorlandsicherung, Bereich der oberflächennahen Rüttelverdichtung, der Beräumungs-, Auftrags- und Abtragsflächen),
- durch den Abtrag der Kippenböden wird die Böschungsgeometrie in den Abtragsbereichen verändert,
- Einschränkung der Nutzung von Wasserfläche und Ufer (Sperrung und Nutzungsausfall, Außerbetriebnahme bzw. Umverlegung von Medien),
- Beeinträchtigung von Flora und Fauna,

- Technologisch bedingte Einwirkungen (wie Erschütterungseinträge durch Rütteldruckverdichtungsarbeiten bzw. durch die sSPV),
- Innerhalb der ungesicherten Kippenflächen im Sperrbereich besteht Setzungsfließgefahr.
- Eine Rutschungsgefahr ist auch im Zusammenhang mit den dynamischen Kippenstabilisierungsarbeiten gegeben, es besteht die Möglichkeit, dass Flächen und sich darauf befindliche bauliche Anlagen beschädigt werden.
- Lärm- und Staubemissionen im Zusammenhang mit der Bautätigkeit,
- Verkehrseinschränkungen in den Zufahrtsbereichen zur Baustelle und zur Einsetzstelle durch Baustellenverkehr,
- Temporäre Beeinträchtigung der Seewasserqualität (Trübung) durch die Arbeiten im See.

Mit der RDV erfolgt ein Energieeintrag in den Boden, dessen Ausbreitung im Untergrund unter Umständen zu Schäden an angrenzenden baulichen Objekten führen kann. Aus Erfahrungswerten von bereits durchgeführten und geotechnisch betreuten RDV-Maßnahmen können folgende Auswirkungsradien abgeschätzt werden:

- Als wahrscheinlich sind Schäden an Gebäuden und Objekten einzustufen (wenn keine schwingungsreduzierenden Maßnahmen ergriffen werden), die eine Entfernung von weniger zum 50 m vom Schwingungseintrag aufweisen,
- Nicht auszuschließen sind Schäden an Gebäuden die sich in einem Entfernungsradius von 50 m bis 150 m zur Schwingungsquelle befinden. Insbesondere gilt dies für erschütterungsempfindliche Bauwerke.

Auf Grundlage der aufgeführten Punkte sind für Objekte bis 150 m Entfernung von der Rütteltrasse, vor Ausführung der dynamischen Verdichtungsarbeiten, Beweissicherungsmaßnahmen (Gebäudesubstanz, Gebäudekonstruktion, bauliche Vorschädigungen usw.) durch Gutachter auszuführen und eine Bewertung des für die Objekte spezifisch zulässigen Schwingungseintrages durchzuführen. Die Auswirkungen der RDV sind mittels einer baubegleitenden Beweissicherung (Setzungs- und Schwingungsmessungen) während der Ausführung zu überwachen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass Objekte, die auf Kippe gegründet sind, durch den Erschütterungseintrag auch nachträglich Setzungen erleiden können.

Auch durch die sSPV erfolgt ein Erschütterungseintrag in den Kippenkörper. Dieser kann unter Umständen aufgrund der impulsartigen Belastung von der Umwelt stärker wahrgenommen werden. Bei der Bemessung der sSPV sind die Schwingungsbelastungen, die bei der RDV zu erwarten sind, als maßgebend anzusehen.

Tabelle 31: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich U – Sicherungsvariante 2 oder 3

Beräumungsarbeiten	
Holzung	8,3ha / in 8 Flurstück
Waldflächen (Rodung)	0,2 ha
Beräumung (massiv)	7 Stk.
Beräumung Bungalow	79 Stk.
RDV – Einwirkung	
Betroffene Flurstücke Abstand bis 50 m	3 Flurstücke
Betroffene Flurstücke Abstand von 50 m bis 150 m	33 Flurstücke
Beweissicherung an Objekten	Verteilerwehr
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich	3 Jahre (bei Beibehaltung der bisherigen Bauphasen)
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	Vollständiger Rückbau aller Medien im Bereich
Objektsicherung	entfällt

Vorteile

- die landseitige RDV ist eine vielfach bewährte Technologie mit geringeren technologischen Unsicherheiten gegenüber deren seeseitiger Ausführung,

- die landseitige RDV ist kostengünstiger als die seeseitige RDV,

- das Einspülen von Massen nach der RDV entfällt (Anhebung der Stützkörperoberfläche nach der Verdichtungsabsenkung bei dessen seeseitiger Herstellung) - damit ergibt sich ein deutlicher Zeitgewinn, da ein zeitaufwendiger und technologisch anspruchsvoller Arbeitsschritt entfällt,

- es werden weniger seeseitige Arbeiten notwendig - dadurch ist ein geringerer Trübstoffeintrag zu erwarten, was sich insgesamt positiv auf die Wasserqualität auswirkt,

- ein geringerer Umfang von Holzung und Rodung sowie Endprofilierung wird erforderlich, das heist ein deutlich geringerer Eingriff in die Natur erfolgt (ökologische Bilanz),

- bei landseitiger Ausführung der RDV ergibt sich eine Entlastung der Einsetzstelle, da weniger seeseitige Technik (Transport, RDV, etc.) notwendig wird,

- der Bereich des RDV-Stützkörpers ist als Baugrund für eine spätere Entwicklung nutzbar,

- Es ist ein paralleles Abarbeiten der landseitigen RDV und seeseitigen RDV (z. B. im Bereich S Süd) möglich - damit ergibt sich ein Zeitgewinn für die Gesamtbauzeit,

- insgesamt ist eine positivere Zeitbilanz zu erwarten,

- es wird kein Massenabtrag an der Hochkippenböschung erforderlich, damit reduziert sich der Eingriff in die Natur (keine Beanspruchung von Wald) sowie in Flächen von Privateigentümern (Entschädigungsfrage),

- eine sichere Startposition für das RDV-Trägergerät ist an der Westseite auf Gewachsenen vorhanden,

- durch die Vorfeldsicherung wird keine Auffüllung erforderlich – die Grundbruchsicherheit für die vorgesehene Grundsicherung wird durch die erforderliche Verdichtung hergestellt - damit kein Bedarf an Auffüllmassen (eine Ausnahme bildet ein geringer Bedarf im Übergang zum Abschnitt T),

- durch den Übergang des landseitigen RDV-Stützkörpers auf den seeseitig hergestellten RDV-Damm im Bereich T wird an der Nordböschung ein für Maschinentechnik sicherer Zugang zum See geschaffen (Möglichkeit einer Wasserentnahmestelle für Feuerlöscheinsätze, etc.),

- es wird kein Aushub eines Grabens vor der RDV notwendig – damit ergibt sich eine Verringerung der seeseitigen Eingriffe (das heist weniger Trübstoffeintrag) und eine Vermeidung der beschriebenen Unsicherheiten bei der Grabenherstellung und damit Minderung von Kostenrisiken,

- mit der Herstellung des Versteckten Dammes und der Vorlandsicherung erfolgt in diesen Bereichen eine Vergütung des Baugrundes,

- die Flächen, in denen die Verdichtung bis zum Kippenliegenden geführt wird, sind in der Nachnutzung für eine Bebauung geeignet,

- im Falle der Verdichtung der in der Uferböschung anstehenden Kippenböden bis zum Seesohlenniveau von +122,2 m NHN (Variante 4) kann vollständig auf einen seeseitigen Aushub verzichtet werden. Damit reduziert sich der seeseitige Eingriff auf die Verdichtung der dort anstehenden Kippenböden. Dementsprechend verringert sich der Eintrag von Trübstoffen (durch den Entfall von umfangreichen Abtragsarbeiten) in den See, was sich wiederum positiv auf die Seewasserqualität auswirken wird.

<u>Nachteile</u>

- es wird ein Rückbau der kompletten Bebauung und Infrastruktur erforderlich - damit wird eine vollständige Entschädigung aller Bungalowbesitzer/Flächeneigentümer notwendig,

- der Rückbau der Bebauung muss im Vorfeld der RDV erfolgen,

- Zugabemassen für die RDV werden benötigt (erhöhter Baustellenverkehr im Bau- und Zufahrtsbereich),

- zum Verteilerwehr der LTV und zur Brücke ist ein geringer Abstand vorhanden - technisch lösbar durch eine Anpassung RDV-Regimes und eine entsprechende Beweissicherung/Überwachung,

- die vorhandene Brücke am Verteilerwehr ist eventuell für die zu erwartenden Belastungen (Raupenkran, Massentransporte, etc.) zu gering dimensioniert - eine Ertüchtigung oder ein bauzeitlicher Ersatz (Behelfsbrücke) kann notwendig werden,

- es kann nur ein RDV-Gerät zur Dammherstellung eingesetzt werden (nur eine sichere Startposition an der Westseite vorhanden; gegebenenfalls kann die Vorfeldsicherung mit einem zweiten Gerät ausgeführt werden),

- die Massengewinnung an der Hochkippe entfällt (die Gesamtmassenbilanz am Knappensee wird dadurch unter Umständen negativ beeinflusst),

- für die landseitige Dammherstellung ergibt sich aufgrund der notwendigen Dammbreite von 55…45 m ein größeres RDV-Volumen, welches sich bei einer Vorfeldsicherung mittels RDV noch vergrößert,

- möglicherweise ergibt sich eine Änderung der Uferlinie (je nach Ansatzlinie der 1:15 Böschung) - in der Variantenbetrachtung wird die Uferböschung ausgehend von der Höhenkote +126 m NHN angenommen,

- in diesen Varianten ist nur eine seeseitige Massengewinnung möglich, damit ergibt sich eine eingeschränkte Verwendbarkeit dieser Massen oder das Erfordernis zur Behandlung der Baggermassen (z. B. Entwässerung) bzw. insgesamt erhöhte Aufwendungen, wenn die Massen an Land Verwendung finden sollen,

- Anpassung des RDV-Körpers Bereich T im Übergang zum Bereich U notwendig.

Tabelle 32: Kosten (Kostengruppen) Bereich U – Variante 2

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten [€]**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXXX
Erdbau	XXXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXXX
Summe netto	XXXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

Tabelle 33: Kosten (Kostengruppen) Bereich U – Variante 3

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten [€]**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXXX
Erdbau	XXXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXXX
Summe netto	XXXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

Tabelle 34: Kosten (Kostengruppen) Bereich U – Variante 4

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten [€]**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXXX
Erdbau	XXXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXXX
Summe netto	XXXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

6.4.3 Variantenvergleich

In den vorangegangenen Kapiteln 6.2.1 und 6.2.2 wurden insgesamt 4 Varianten beschrieben, die im Rahmen der Gefahrenabwehr zur Sicherung der Kippenböden im nördlichen Uferabschnitt U ausgeführt werden können. In jedem Fall ist die Herstellung eines Stützkörpers zur Sicherung der locker gelagerten Kippenmassen erforderlich. Für die Verdichtung der Kippenböden zur Herstellung eines Stützkörpers wird die vielfach bewährte RDV-Technologie vorgeschlagen.

Grundsätzlich kann die Herstellung des Stützkörpers mit der RDV in zwei Hauptvarianten unterschieden werden. Die Variante 1 umfasst eine seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes. Dem gegenüber wurde in den Varianten 2 bis 4 eine landseitige Herstellung des Versteckten Dammes betrachtet. Aus diesen von der Lage des Stützkörpers und dem Ausmaß des Eingriffes grundsätzlich unterschiedlichen Sicherungsvarianten resultieren entsprechend unterschiedliche Betroffenheiten.

Die technologischen Abläufe zur Herstellung des Stützkörpers mittels RDV sind für alle Varianten identisch. Im Vergleich der Varianten ergeben sich Unterschiede in den erforderlichen Mengen und Kosten.

Die Unterschiede in wesentlichen Leistungspunkten und Kosten zeigt die Tabelle 35.

Die Gesamtauflistung des Kostenvergleiches für den Uferbereich U am Knappensee befindet sich in der Anlage 5. Die angenommenen Pauschalen und Aufschläge sind in Kapitel 6.1.6 dargelegt.

Eine Zusammenstellung der Kostenabschätzungen für die betrachteten Varianten zeigen die Tabellen 38 bis 41. Diese ergeben für die Varianten 1 bis 4:

Variante 1 XXXXXXXX
Variante 2 XXXXXXXX
Variante 3 XXXXXXXX
Variante 4 XXXXXXXX.

Aus der Kostenschätzung der unterschiedlichen Varianten wird deutlich, dass die zu erwartenden Gesamtkosten für alle betrachteten Varianten in einem vergleichbaren Kostenniveau liegen und keine signifikanten Unterschiede ausweisen. Entsprechend der Kostenschätzung erscheint die Variante 2 (Herstellung eines landseitigen Dammes mittels RDV, Vorlandsicherung mittels sSPV und Ufersicherung mittels LRV) mit einem Kostensatz von XXXXXXXX am günstigsten. Die aufgeführten Zahlen zeigen, dass die Variante 1 (das heist die ursprünglich vorgesehene Variante mit der Herstellung eines seeseitigen Stützkörpers) sich als insgesamt teuerste Variante darstellt. Die Differenz zwischen der teuersten und günstigsten Variante beträgt XXXXXXXX.

Aus geotechnischer und technologischer Sicht sollte jedoch nicht allein die kostenmäßige Betrachtung ausschlaggebend für die Auswahl einer Vorzugsvariante sein.

Den augenscheinlich geringeren Kosten der Variante 2 steht, zumindest für die seeseitigen Aushubarbeiten und die Sicherung des Stützkörpervorlandes mittels sSPV, ein höheres Herstellungsrisiko gegenüber. Risiken, die bei der seeseitigen Herstellung des Versteckten Dammes auftreten können, sind in den Nachteilen der Variante 1 (Kapitel 6.4.1) dargestellt. In der Kostenschätzung der Variante 1 wurde eine eventuell erforderliche Materialzugabe berücksichtigt, so dass das damit einhergehende Kostenrisiko mit eingerechnet ist und eine Vergleichbarkeit der Ausführungskosten zur landseitigen RDV gegeben ist. Risiken, die sich aus den seeseitigen Aushubarbeiten oder bei Eintreten von Instabilitäten ergeben können, haben aufgrund ihrer Unabschätzbarkeit keinen Eingang in die Kostenschätzung gefunden.

Tabelle 35: Vergleich einzelner Kostenpositionen Bereich U Varianten 1 bis 4

Leistung		Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4	
		Menge	Kosten [€]	Menge	Kosten [€]	Menge	Kosten [€]	Menge	Kosten [€]
Abbruch und Beräumung									
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	ha	5,85	XXXXXXX	2,7	XXXXXXX	2,7	XXXXXXX	2,7	XXXXXXX
Holzung, Beräumung (maschinell) – Erdbaubereiche	ha	6,10	XXXXXXX	5,6	XXXXXXX	5,6	XXXXXXX	5,6	XXXXXXX
Beräumung, Rodung	ha	6,10	XXXXXXX	5,6	XXXXXXX	5,6	XXXXXXX	5,6	XXXXXXX
Schilfmahd und Entsorgung	ha	1,8	XXXXXXX	2,4	XXXXXXX	2,4	XXXXXXX	2,4	XXXXXXX
Abbruch baulicher Anlagen	Stk.	87	XXXXXXX	87	XXXXXXX	87	XXXXXXX	87	XXXXXXX
Erdbau									
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	m³	64.500	XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX
Seeseitig Massen transportieren und einbauen	m³	75.000	XXXXXXX	24.000	XXXXXXX	24.000	XXXXXXX		XXXXXXX
Bodenmaterial liefern, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	m³	46.500	XXXXXXX	23.000	XXXXXXX	23.000	XXXXXXX	23.000	XXXXXXX
Landseitig Massen transportieren und einbauen	m³	86.000	XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX
Verdichtungsleistungen									
RDV, landseitig	m³		XXXXXXX	1.250.000	XXXXXXX	1.940.000	XXXXXXX	1.940.000	XXXXXXX
RDV, seeseitig	m³	550.000	XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX
sSPV	m³		XXXXXXX	410.000	XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 4 m…5 m	m³	186.000	XXXXXXX	178.300	XXXXXXX	178.300	XXXXXXX	403.200	XXXXXXX
Oberflächennahe landseitige Verdichtung (Walzenzug)	m³		XXXXXXX	34.500	XXXXXXX	45.800	XXXXXXX	45.800	XXXXXXX
Rekultivierung									
Summe Rekultivierung	ha	10,9	XXXXXXX	7,5	XXXXXXX	7,5	XXXXXXX	7,5	XXXXXXX
Mediensicherung									
Summe Mediensicherung	psch		XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX
Entschädigungsleistungen									
Summe Entschädigungsleistungen			XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX

Wie aus der Kostenzusammenstellung erkennbar ist, stellen sich die Varianten mit einer landseitigen Herstellung des Stützkörpers als die kostengünstigeren dar. Darüberhinaus ist der landseitigen Ausführung des Versteckten Dammes (Varianten 2 bis 4) ein geringeres Ausführungsrisiko zu bescheinigen. Neben den geringeren Unsicherheiten reduzieren sich auch bei der landseitigen RDV die benötigten Massen. Es werden nur Zugabemassen und in geringem Umfang im östlichen Bereich des Böschungsabschnittes Auffüllungsmassen benötigt. Dieser Massenbedarf kann zwar nicht im Bereich gewonnen werden, wird sich jedoch aufgrund der geringeren Gesamtmenge trotzdem positiv in der Gesamtmassenbilanz niederschlagen. Darüberhinaus ist festzustellen, dass die benötigten Massen nur landseitig verwendet werden und deren seeseitiger Transport und Umschlag der Massen auf seeseitige Transporttechnik entfällt. Sehr positiv zu bewerten ist, dass für die landseitigen Erdarbeiten gegenüber den seeseitigen Erdbauarbeiten deutlich geringere Planungs- und Ausführungsunsicherheiten bestehen, die unter Umständen damit auch eine Kostenrelavanz aufweisen können. Das Risiko einer Kostensteigerung ist bei den Varianten 1 bis 3 schwerpunktmäßig in der technologischen Umsetzung der seeseitigen Arbeiten zu sehen.

Die Böschung der Hochkippe im Hinterland des Uferbereiches U, die auf lockeren Kippenböden gründet, erhält durch den nah am Böschungsfuß liegenden Stützkörper eine geotechnische Sicherung, so dass rechnerisch eine ausreichende Sicherheit für einen Geländebruch infolge Verflüssigung ermittelbar ist. Damit wird bei den landseitigen Stützkörpervarianten (Varianten 2 bis 4) kein Eingriff in die Hochkippenböschung erforderlich. Neben dem damit verbundenen geringeren Eingriff in Privateigentum (Entfallen von Entschädigungen für den Bodenabtrag) ergibt sich auch ein geringerer Eingriff aus ökologischer Sicht, indem auf die Holzung dieser Abtragsfläche verzichtet werden kann und somit ökologisch wertvoller alter Baumbewuchs erhalten bleibt. Aus dieser Tatsache resultieren ggf. auch genehmigungsrechtliche Vorteile.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich, indem die Ausführung einer jeweiligen landseitigen Variante parallel zu den in anderen Böschungsbereichen stattfindenden seeseitigen Arbeiten am Stützkörper erfolgen kann. Es ist denkbar, die Bauphase 2 zeitgleich mit der Bauphase 3 auszuführen. Damit besteht die Möglichkeit, die Bauzeit entsprechend zu verkürzen und eventuell Synergien der Baustelleneinrichtung zu nutzen.

Für die Variante 4 besteht darüberhinaus ein Einsparpotential, indem die Verdichtungsteufen der oberflächennahen Verdichtung (LRV) wasserteufenabhängig gewählt/festgelegt werden. Vorteil der Variante 4 ist auch, dass kein bzw. nur ein geringer seeseitiger Aushub erforderlich wird. Damit fallen zum Einen keine seeseitigen Massen an, die zum Zeitpunkt des Abtrages nicht im Uferbereich U als auch im Nachbarbereich T Verwendung finden können und somit aufwendig zu anderen Bereichen transportiert oder aus dem See entfernt werden müssten. Zum anderen wirkt sich der Verzicht auf seeseitige Massenbewegungen positiv auf die Wasserqualität in Form eines geringeren Trübstoffeintrages aus, was wiederum die behördliche Akzeptanz erhöhen dürfte.

Zusammenfassend betrachtet ist aus technologischer Sicht die landseitige Herstellung eines Stützkörpers die geeignetere Variante, um die Verflüssigungs- und Setzungsfließgefahr im Uferbereich U zu beseitigen.

Werden die Betroffenheiten Dritter mit in die Betrachtung einbezogen, so stellt sich die Bewertungssituation etwas verändert dar. Für die vorhandene Bungalowbebauung wird für alle Varianten von einem vollständigen Rückbau ausgegangen. Damit sind Risiken, die sich aus einer Beschädigung der Bebauung aufgrund der langen Sperrzeit und/oder durch Baueinflüsse ergeben, in der Kostenschätzung berücksichtigt. Für die Varianten 2 bis 4 ergeben sich gegenüber der Variante 1 höhere Kosten für die Beweissicherung der im Einflussbereich der RDV liegenden Grundstücke. Durch das Verschieben des RDV-Stützkörpers in Richtung Norden liegen deutlich mehr Flur-/Grundstücke mit Bebauung innerhalb des 150 m Radius von der Erregerquelle (RDV-Gerät). Insbesondere gilt dies für die Bebauung nordwestlich vom Verteilerwehr, die jetzt mit in den Fokus rückt.

Hinsichtlich der Betroffenheiten ergibt sich, dass diese für die Variante 1 gegenüber den Varianten 2 bis 4 einen geringeren Umfang einnehmen und somit unter diesen Voraussetzungen als günstigere Alternative anzusehen ist.

In logistischer Sicht mit dem weitgehenden Verzicht von seeseitigen Arbeiten und damit unter dem Aspekt, dass alle wesentlichen Erdbauarbeiten landseitig stattfinden, lassen die Varianten 2 bis 4 (vor allem Variante 4) günstiger abschneiden. Diese Aussage gilt auch für die Planungs- und Ausführungssicherheit der landseitigen Erdarbeiten.

Aus ökologischer Sicht stellt sich eine landseitige Herstellungsvariante des Stützkörpers gegenüber dessen seeseitiger Ausführung als Vorzugsvariante dar. Durch den Verzicht der Abtragsarbeiten im Bereich der Hochkippe können ökologisch wertvolle Biotopeinheiten verschont werden und der Eingriff in die Biotope ist gegenüber der seeseitigen Variante deutlich geringer.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Alternativvarianten 2 bis 4 (und auch hier wiederum der Variante 4) ist deren autarke Abarbeitungsmöglichkeit. Die Abarbeitung kann zeitgleich mit den seeseitigen Arbeiten in anderen Böschungsabschnitten stattfinden. Die einzige Bedingung ist, dass der seeseitige Stützkörper im Uferabschnitt T vor der Annäherung des landseitigen RDV-Dammes im Abschnitt U fertiggestellt sein muss.

Die Alternativenprüfung zeigt, dass anhand der reinen sich aus der Kostenabschätzung ergebenden Summen keine abschließende Bewertung vorgenommen werden sollte.

Aus planerischer Sicht wird einer landseitigen Herstellung des Stützkörpers im nördlichen Uferabschnitt U der Vorzug gegeben. Als Vorzugsvariante wird die Variante 4 angesehen. Durch den Verzicht auf seeseitige Arbeiten sind die mit diesen Arbeiten verbundenen Risiken für diese Variante nicht mehr zutreffend.
Für die Beseitigung der Verflüssigungsgefahr im Uferabschnitt U sollte die Variante 4 (landseitige Stützkörperherstellung) zur Ausführung kommen. Es kann auch eine Kombination von einzelnen Arbeitsschritten dieser Varianten zum Einsatz kommen. Diese Möglichkeit ist in weiteren möglichen Planungsschritten tiefer zu betrachten.

Auch wenn die Kostenschätzung für die Variante 4 gegenüber der Variante 2 einen höheren Betrag ergibt, so ist dennoch mit dem Verzicht auf seeseitige Arbeiten ein unter Umständen nicht unwesentlicher Anteil am Kostenrisiko gebannt. Auch zeichnet sich diese landseitige Variante mit einer höheren Ausführungssicherheit aus. Daneben ergibt sich mit der zeitgleichen Abarbeitungsmöglichkeit Einsparpotential durch eine Zusammenführung einzelner Baustelleneinrichtungen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die landseitige Herstellung eines Stützkörpers nach Variante 4 im nördlichen Uferabschnitt (Bereich U) unter Berücksichtigung aller Faktoren und Einflüsse als die geeignetste Maßnahme zur Beseitigung der Verflüssigungsgefahr im Uferabschnitt U anzusehen ist.

6.5 Alternativenprüfung - Bereich D Ost

6.5.1 Sicherungsvariante 1 – Versteckter Damm (seeseitig)

Variantenbeschreibung

Die Variante 1 der betrachteten Sicherungsvarianten im Planungsabschnitt D Ost stellt die Sicherung mittels Verstecktem Damm in seeseitiger Ausführung dar. Diese Variante ist mit der vorliegenden Entwurfsplanung [16] identisch. Diese Entwurfsplanung bildet die Grundlage für die Beschreibung und Mengenermittlung.

Für die Sicherung des Uferbereiches mittels seeseitigem Versteckten Damm ist aus statischen Gründen ein 31,0 m breiter einteiliger Versteckter Damm im Strandbereich erforderlich. Dabei ist der Stützkörper bis zum Liegenden zu verdichten. Weiterhin ist über die gesamte Dammbreite hinaus bis zu einem Höhenniveau von +122,2 m NHN eine 5 m tief reichende oberflächennahe Rütteldruckverdichtung mittels LRV vorzusehen.

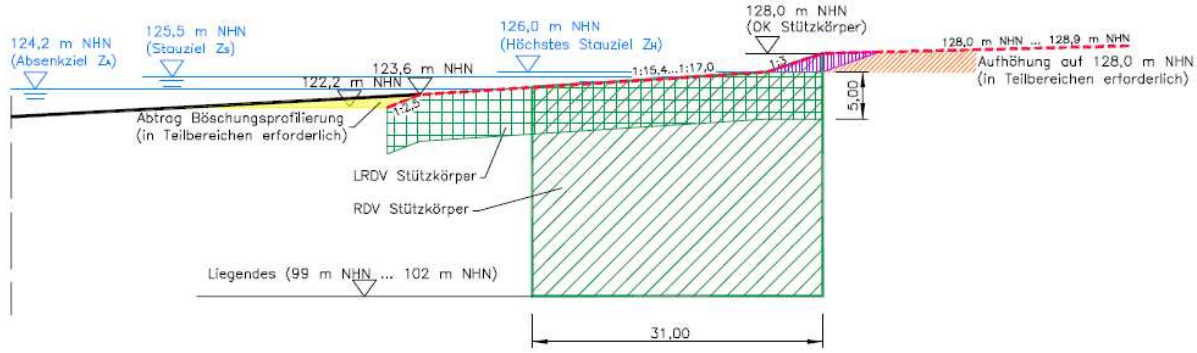

Abbildung 10: Regelprofil Versteckter Damm im Bereich D Ost – Variante 1

Die Sicherung der Uferböschung durch den Versteckten Damm erfolgt bis zu einer Höhe von +128,0 m NHN. Die Uferböschung wird mittels Profilierung auf den Versteckten Damm bestehend aus RDV und LRV aufgesetzt. In Teilbereichen des Hinterlandes von D Ost wird das Niveau der mindestens erforderlichen erdfeuchten Überdeckung im stationären Endzustand nicht gewährleistet. Hierfür erfolgt ein Massenauftrag bis zur Mindesthöhe von +128,0 m NHN. Im Anstrombereich, in dem infolge meteorologischer Ereignisse das Grundwasser bis auf +126,5 m NHN ansteigen kann, wird das Gelände auf ein Niveau von +128,5 m NHN aufgehöht, um auch in Extremfällen die erdfeuchte Mindestüberdeckung zu gewährleisten. An der Begrenzung der erforderlichen Aufhöhung erfolgt eine Anpassung an das bestehende Gelände.

Zusätzlich erfolgt die Sicherung des Zulaufes Koblenzer Graben ebenfalls durch einen bis auf das Liegende reichenden Versteckten Damm. Im Bereich der vorhandenen Berme ist die Sicherung des Koblenzer Grabens mittels Rüttelstopfverdichtung erforderlich. Der sich nördlich an die Berme anschließende Bereich ist mittels RDV zu verdichten. Aufgrund der landseitig vorhandenen erdfeuchten Überdeckung sowie der geplanten Aufhöhung (Massenauftrag) ist für diesen Dammabschnitt keine LRV vorgesehen.

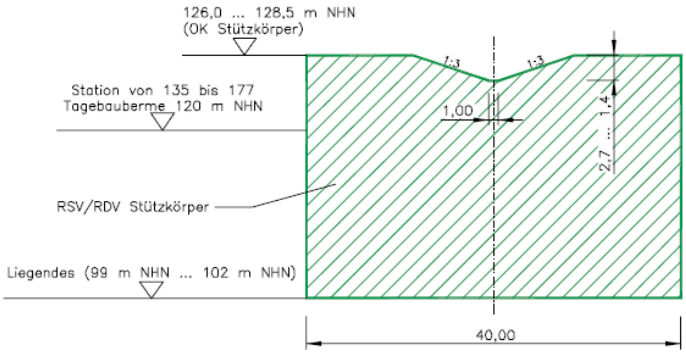

Abbildung 11: Regelprofil Versteckter Damm im Bereich des Koblenzer Grabens

Die rechnerische Rückgriffweite für ein Setzungsfließereignis im Abschnitt D Ost beträgt ca. 250 m ab Böschungsschulter der Uferböschung, ist jedoch aufgrund der vorhandenen Kippenverhältnisse durch die obere Abraumkante begrenzt.

Beschreibung der technologischen Umsetzung

Vor Beginn der Verdichtungsarbeiten sind die Trasse des Versteckten Dammes sowie der sich landseitig anschließende Uferbereich vom vorhandenen Bewuchs (Schilf, Baumwurzelwerk etc.) zu beräumen. Diese Arbeiten sollen seeseitig unter Verwendung eines auf Ponton installierten Tieflöffelbaggers und dem Abtransport durch Schuten durchgeführt werden. Neben der Beseitigung des Bewuchses ist der Wurzelhorizont (in einer Mächtigkeit von ca. 1 m) abzubaggern. Die Baggerarbeiten im Vorfeld der RDV dienen neben dem Abtrag der Wurzelschicht vor allem der Schaffung der erforderlichen Bewegungsfreiheit für das Ponton der RDV-Einheit. Dafür ist durch die Vorfeldbaggerung im Trassenbereich (Fahrachse Ponton) eine Seebodenhöhe von +123,5 … +124,0 m NHN zu erstellen.

Auch der Trassenbereich des Koblenzer Grabens ist vom Bewuchs zu beräumen. Die vorhandenen Bäume sind zu fällen und zu roden. Der Wurzelhorizont ist in einer Mächtigkeit bis max. 1 m abzubaggern. Der Graben ist gegen Ausspülungen im Sohlbereich sowie im unteren Teil der Grabenböschungen mit losen Steinen gesichert. Diese sind auszuheben. Anstehende Bereiche mit Mudde im Bereich der Grabensohle sind ebenfalls auszuheben. Die Arbeiten am Koblenzer Graben können erst erfolgen, wenn die Ufersicherung mittels Versteckten Damm im Abschnitt D Ost umgesetzt wurde.

Das Fällen von den an der Uferböschung stehenden Bäumen bis einschließlich 20 m ins Hinterland erfolgt manuell und landseitig. Dabei ist zu beachten, dass die Bäume nicht in Richtung See umgelegt werden, so dass durch die Bäume keine Verflüssigungen auslösende Initiale in den Untergrund eingetragen werden können. Ebenso erfolgen Baufeldberäumungs- und Holzungsarbeiten im Bereich von erforderlichen Geländeaufhöhungen.

An der südlichen Grenze im Südwestteil des Abschnittes D Ost befindet sich ein Teich, der Wässer von Agrarflächen sammelt. Die Entwässerung dieses Teiches erfolgt über einen Zulauf (Betonrohr DN 1000) in den Knappensee. Während der Sicherungsarbeiten ist dieser Zulauf zu gewährleisten.

Für die Durchführung der seeseitigen RDV ist das Trägergerät am dafür vorgesehenen Platz zu montieren, anschließend auf dem Ponton zu befestigen bzw. einzusetzen. Das Einsetzen der Technik sowie die Massenverbringung zwischen Land und See erfolgen über die Einsetzstelle im Uferabschnitt E, unmittelbar westlich des Zulaufes „Altes Schwarzwasser“ in Groß Särchen. Der Tiefgang der vollständig ausgerüsteten RDV-Pontoneinheit darf einen Wert von 2,0 m nicht überschreiten. Dies gestattet das Manövrieren der Einheit in der geplanten Fahrachse entlang des RDV-Stützkörpers, dessen durchgehende Befahrbarkeit für die RDV-Pontoneinheit erst durch die erwartete Absenkung des Seebodens in einer Größenordnung von 1,0 m bis 1,5 durch die RDV-Arbeiten ermöglicht wird. Sollte die freie Befahrbarkeit mit dem Maximaltiefgang der Pontoneinheit aufgrund zu geringer Absenkungsbeträge nicht möglich sein, so sind diese Fahrbereiche zusätzlich im Vorgang auszubaggern.

Für die Gewährleistung der Lagestabilität der RDV-Pontoneinheit sowie zum Aufbringen der zum Ziehen der Lanze notwendigen Kraft, muss eine Abstützung des Pontons auf dem Seeboden erfolgen.

Es wird davon ausgegangen, dass die unter Wasser befindlichen Massen den Rüttellöchern zufließen. Somit ist die Ausführung der RDV im Rüttelvorgang ohne Materialzugabe geplant. Die Technologie der massezugabefreien RDV ist vor dem Routinebetrieb in einem RDV-Test zu prüfen. Gegebenfalls könnte eine seeseitige Massenzugabe erforderlich werden.

Die RDV soll in einer Sicherheitsfahrweise ausgeführt werden. Dies bedeutet, dass in Abhängigkeit von der Verdichtungsteufe Ruhezeiten zum Abklingen von Porenwasserüberdrücken einzuhalten sind. Zusätzlich werden die RDV-Arbeiten messtechnisch (mittels PWD-Messungen) begleitet.

Mit der Beendigung der RDV-Maßnahme sowie vor Ausführung der oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) wird im Bereich des Stützkörpers eine Auffüllung zum Ausgleich der verdichtungsbedingten Seebodenabsenkung erforderlich. Mit Hilfe der Auffüllung ist die Geometrie der Stützkörperböschung entsprechend des erforderlichen Profils herzustellen.

Sobald die Auffüllung der Fläche des Versteckten Dammes realisiert ist, kann die oberflächennahe Rüttelverdichtung (LRV) ausgeführt werden. Dabei sind die oberflächennahen Bereiche des RDV-Stützkörpers sowie der für die Gewährleistung der Trittsicherheit erforderliche Bereich zu verdichten. Die Verdichtung durch LRV erfolgt bis 5,0 m Tiefe.

Für die Durchführung der oberflächennahen Rütteldruckverdichtung ist nur amphibische Gerätetechnik geeignet, da der Einsatz sowohl an Land als auch im Wasser erfolgen muss.

Nach Abschluss aller Verdichtungsarbeiten zur Herstellung des Versteckten Dammes erfolgt die Feinprofilierung der Dammoberfläche und der sich daran anschließenden Uferböschung. Hierbei wird die Uferböschung um den im Vorfeld abgetragenen Teil auf den fertig gestellten Versteckten Damm wieder aufgetragen und profiliert. Der Massenauftrag erfolgt dabei mittels Erdbautechnik landseitig. Die Feinprofilierung der Uferböschung erfolgt mittels amphibischer Technik von der Seeseite aus. Das sich ans Ufer anschließende Böschungsprofil wird mit einer Böschungsneigung von 1 : 3 hergestellt.

Nach Fertigstellung des Versteckten Dammes im nordöstlichen Uferbereich des Abschnittes D Ost kann die Sicherung des Koblenzer Grabens erfolgen. Für die Sicherungsarbeiten am Koblenzer Graben ist eine temporäre Umverlegung bzw. Umleitung des Koblenzer Grabens erforderlich. Dabei wird vor der Ausführung der Arbeiten ein Graben erstellt. Da dieser Graben sich entsprechend der erforderlichen Neigung innerhalb des Kippenbereiches im grundwassernahen Bereich befindet, sind die Grabenböschungen zu sichern.

Nach Umleitung, Baufeldberäumung und Beseitigung des Bewuchses am Koblenzer Graben erfolgt die Verfüllung der ursprünglichen Trasse des Grabens inkl. einer Geländeaufhöhung im Trassenbereich von ca. 2 m, so dass eine Geländehöhe von ca. +130 m NHN entsteht. Im Trassenbereich des Versteckten Dammes ist die Medienfreiheit durch entsprechende Maßnahmen (Umverlegung usw.) im Vorfeld abzusichern.

Für die Durchführung der Rüttelstopf- (RSV) und Rütteldruckverdichtung (RDV) entlang des Koblenzer Grabens wird im landseitigen Anschluss an die Grenze Kippe-Gewachsenes zwischen Kippe und Brücke im Hinterland ein Montage- und Startplatz für die Gerätetechnik errichtet. Vorhandene bauliche Anlagen in diesem Bereich sind dabei im Vorfeld zu sichern.

Um Böschungsbrüche durch lokale Verflüssigungsvorgänge zu vermeiden, ist die Durchführung der RDV im Bereich des Koblenzer Grabens ebenfalls in Sicherheitsfahrweise auszuführen.

Nach Abschluss aller Verdichtungsarbeiten zur Herstellung des Versteckten Dammes im Grabenbereich erfolgt nach Vorlage und Prüfung der Verdichtungsergebnisse die Profilierung des Grabens. Dabei wird von der RDV-Trasse bzw. vom Ufer aus rückschreitend in Richtung Hinterland der Graben mittels Erdbautechnik ausgehoben. Die Grabenböschungen werden in einer Neigung von 1 : 3 hergestellt.

Der Graben wird unter der Prämisse der Erhaltung des Fließgewässers in seiner Lage und Gestalt unter Beachtung standsicherheitsrelevanter Aspekte wieder so hergestellt, wie er vor der Ausführung der Sicherungsmaßnahme vorhanden war.

Für die Qualitätssicherung der Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ist ein Geotechnisches Messprogramm zu planen und in der Ausführung umzusetzen.

Die vorstehend ausführlich beschriebenen auszuführenden Arbeiten zur Herstellung des Versteckten Dammes lassen sich in folgende Teilschritte gliedern:

1. Baufeldberäumung (Holzung, Schilfschnitt) im Bereich des Ufers und der Verdichtung
2. Seeseitige Baggerung im Dammbereich zur Schaffung der erforderlichen Fahrtiefe der RDV-Pontoneinheit,
3. Vorsondierungen RDV,
4. RDV ohne Massenzugabe,
5. Nachsondierung RDV,
6. Seeseitiger Massenauftrag zur Auffüllung des Senkungsdefizites der RDV sowie zur Vorbereitung der Böschungskonturierung (Vorprofilierung),
7. Vorsondierung LRV
8. LRV
9. Nachsondierungen LRV
10. Landseitiger Erdbau / Geländeprofilierung,
11. Rekultivierung Bewuchs im Bereich der bearbeiteten Flächen (Bäume, Rasen, Schilf).

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 36: Mengenaufgliederung Bereich D Ost Variante 1

Leistung	ME	Menge
Abbruch und Beräumung		
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	ha	2,9
Holzung, Beräumung (maschinell) - Erdbaubereiche	ha	3,3
Beräumung, Rodung	ha	5,1
Beräumung Schilf	ha	1,4
Abbruch baulicher Anlagen inkl. Bungalows	Stk	8,0
Bauzeitliche Umverlegung Koblenzer Graben	psch	1,0
Erdbau		
Oberbodenabtrag, Zwischenlagerung, einbauen	m³	14.000
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	m³	100.000
Seeseitig Massen transportieren, einbauen o. übergeben	m³	42.000
Landseitig Massen transportieren und einbauen	m³	26.500
Bodenmaterial liefern, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	m³	18.500
Verdichtungsleistungen		
RDV, seeseitige Ufersicherung Versteckter Damm: Breite 33 bis 35 m, Länge 695 m Versteckter Damm im Übergang zu Abschnitt G Breite 45 m, Länge 150 m	m³	 460.000 140.000
RDV, landseitige Sicherung des Koblenzer Grabens Versteckter Damm: Breite 40 m, Länge 150 m	m³	110.000
RSV, landseitig,	m³	16.000
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 5m	m³	250.000
Rekultivierung		
Anpflanzung, Ansaat	ha	5,1

Randbedingungen

Zur Ausführung der seeseitigen Arbeiten ist aus geotechnisch-technologischen Gesichtspunkten ein möglichst hoher Wasserstand im Restlochgewässer zu gewährleisten. Aus planerischer Sicht wird von der Bereitstellung eines Wasserspiegels im Niveau von +125,0 m NHN bis +125,5 m NHN ausgegangen.

Der komplette Kippenbereich im Abschnitt D Ost ist während der Sicherungsarbeiten als bzgl. Verflüssigungen und Setzungsfließrutschungen gefährdetes Gebiet einzustufen.

Der uferparallel verlaufende RDV-Damm ist vor Beginn der im Abschnitt D Ost erforderlichen Sicherung des Koblenzer Grabens und landseitigen Massenauftragsarbeiten fertig zu stellen.

Während der Ausführung der Arbeiten ist für die Kippenflächen ein Sperrbereich einzurichten.

Vor Beginn der Arbeiten sind Beweissicherungsmaßnahmen an Bauwerken, bei denen Schäden durch die Erschütterungen infolge der Rüttelarbeiten nicht ausgeschlossen werden können, zu realisieren (Fotodokumentation, Rissdokumentation und -monitoring).

Die im Sperrbereich befindlichen Gebäude dürfen während der Sicherungsarbeiten (dynamische Kippenstabilisierung und Erdbauarbeiten) nicht durch Personen genutzt oder betreten werden. Die Gebäude sind für den Zeitraum der Sicherungsarbeiten freizuziehen.

Für die Zuführung als auch den Abtransport von Technik und Massen zum See ist die vorhandene Einsetzstelle nördlich von Groß Särchen zu nutzen. Sie stellt die einzige Schnittstelle zwischen See und Land dar.

Im Zuge der Tiefenverdichtung ist der Ponton mittels einer für die auftretenden Kräfte geeigneten und ausreichend dimensionierten Vorrichtung im Seeboden zu verankern bzw. abzustützen. Die Verankerung ist konstruktiv so zu gestalten, dass sie im Fall einer Kippenbewegung an Sollbruchstellen versagt, um eine Gefährdung des gesamten RDV-Gerätekomplexes zu unterbinden.

Bei der Durchführung der RDV bzw. des Versteckten Dammes sind die im Abschnitt D Ost bestehenden Zuläufe (Agrarwässer bzw. MTS-Graben, Koblenzer Graben) zum Knappensee aufrecht zu halten. Mögliche Einwirkungen (Sackungen, Verschiebungen usw.) auf die Zuläufe sind zu beachten und entsprechende Maßnahmen zur Gewährleistung der Funktionalität des Zulaufes zu ergreifen. So sind für beide Zuflüsse während der Sicherungsarbeiten in D Ost temporäre Wasserhaltungen für den Havariefall (Überheben) vorzuhalten. Für die Sicherung bzw. Baumaßnahmen an den Zuflüssen selbst sind temporäre Umverlegungen auszuführen (Gestaltung in offenen Gerinnen während der Bauzeit).

Vor Beginn der Sicherungsarbeiten sind die erforderlichen Mediensicherungsarbeiten umzusetzen.

<u>Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)</u>

Da die Maßnahmen der Gefahrenabwehr im öffentlichen Raum stattfinden, bedingt die Umsetzung der Sicherungsvarianten eine große Auswirkung auf Dritte in Form von:

- Beräumungsarbeiten (Holzung, Rodung, Abriss von Objekten) im Bereich der Verdichtung sowie Flächen des erforderlichen Massenauftrages,
- Einschränkung der Nutzung (Sperrung und Nutzungsausfall, Medien),
- Technologisch bedingte Einwirkungen (wie Erschütterungseinträge durch Rütteldruckverdichtungsarbeiten),
- Beeinträchtigung der Flora und Fauna,
- Gefahr von Setzungsfließrutschungen innerhalb der ungesicherten Kippenflächen im Sperrbereich,
- Lärm- und Staubemissionen im Zusammenhang mit der Bautätigkeit,
- Verkehrseinschränkungen in den Zufahrtsbereichen zur Baustelle und zur Einsetzstelle durch Baustellenverkehr,
- Temporäre Beeinträchtigung der Seewasserqualität (Trübung) durch die seeseitigen Arbeiten.

Die Ausbreitung der Schwingungen der Rütteldruckverdichtungen in die angrenzenden Bereiche kann unter Umständen zu Schäden an baulichen Objekten führen. Im Ergebnis der Betrachtung von Erfahrenswerten der Rütteldruckverdichtung werden folgende Auswirkungen erwartet:

- Schäden an Gebäuden und Objekten, die in einer Entfernung von weniger als 50 m von der Rütteltrasse entfernt sind, werden als wahrscheinlich eingestuft, so lang keine schwingungsreduzierenden Maßnahmen zur Ausführung kommen,

- Schäden an Gebäuden die sich in einer Entfernung von 50 m bis 150 m in Entfernung zur Rütteltrasse befinden, sind nicht auszuschließen, insbesondere bei erschütterungsempfindlichen sowie bau- und gründungstechnisch wenig anspruchsvollen Bauwerken (Medien, Pumpanlagen usw.).

Auf Grundlage dieser Punkte sind für Objekte bis 150 m Entfernung von der Rütteltrasse vor Ausführung Beweissicherungsmaßnahmen (Gebäudesubstanz, Gebäudekonstruktion, bauliche Vorschädigungen usw.) durch Gutachter auszuführen und eine Bewertung des für die Objekte spezifisch zulässigen Schwingungseintrages durchzuführen. Die Auswirkungen der RDV sind mittels einer baubegleitenden Beweissicherung (Setzungs- und Schwingungsmessungen) während der Ausführung zu überwachen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass Objekte, die auf Kippe gegründet sind, durch den Erschütterungseintrag auch nachträglich Setzungen erleiden können.

Tabelle 37: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D Ost Sicherungsvariante 1

Beräumungsarbeiten	
Holzung und Rodung	5,1 ha / in 5 Flurstücken
Waldflächen (Rodung)	1,06 ha
Beräumung (massiv)	1 Finnhütte, 1 Lagergebäude, 1 Fußgängerbrücke
Beräumung Bungalow	5 Stk.
Beräumung Wohnwagen umbaut	8 Stk.
RDV – Einwirkung	
Betroffene Flurstücke Abstand bis 50 m	12 Flurstücke
Betroffene Flurstücke Abstand von 50 m bis 150 m	91 Flurstücke
Beweissicherung an Objekten	ca. 120 Stk. (überwiegend Wohnbebauung)
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich (Planungsstand 2012)	4 Jahre
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	Trinkwasserleitung, Schmutzwasserleitung, Rückbau und Wiederherstellung Telekomeinrichtungen
Objektsicherung (Bungalows)	18 Objekte

Vorteile der Sicherungsvariante

Vorteile einer seeseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes im Bereich D Ost sind:

- Gerätestandsicherheit wird durch schwimmende Technik gewährleistet, so ist die zusätzliche Schaffung sicherer Startpositionen der Gerätetechnik nicht erforderlich,
- Verdichtung überwiegend im wassergesättigten Kippenkörper, damit ist unter Vorbehalt der Ergebnisse eines RDV-Testfeldes von keiner Materialzugabe während des Rüttelvorganges auszugehen,
- geringere Flächeninanspruchnahme RDV-Damm und damit geringere Rüttelvolumina als gegenüber landseitigem Damm,
- Stützkörper liegt überwiegend im Uferböschungsbereich der hydrodynamischen Ausgleichsböschung,
- geringer Eingriff ins Böschungshinterland bei Profilierungsarbeiten (außer Bereichen mit zu geringer erdfeuchter Überdeckung),
- geringe Beeinflussung der landseitigen Kippenflächen im Rahmen der Baufeldfreimachung, Mediensicherung und Rodungsarbeiten,
- geringer Anteil an Rekultivierungsmaßnahmen.

Nachteile der Sicherungsvariante

Nachteile einer seeseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes im Bereich D Ost sind:

- hohe logistische Anforderung aufgrund der schwimmenden Technik und Nutzung des Sees als Transportweg,
- ausreichend dimensionierte Einsetzstelle für Geräteeinsetzen und Massenumschlag erforderlich,
- Seewasserspiegel muss während der gesamten Sicherung dieses Abschnittes im Niveau von +125,0 m NHN und +125,5 m NHN gehalten werden - Technikeinsatz ist stark von der Lage des Wasserspiegels abhängig,
- wenn eine Materialzugabe der seeseitigen RDV notwendig wird, ist diese technologisch schwierig umsetzbar und somit als Kostenrisiko zu werten,
- Beeinflussung und Trübung des Seewassers zu erwarten,
- nach Rütteldruckverdichtung und vor seeseitiger oberflächennaher Rüttelverdichtung ist Massenauftrag mit Profilierung erforderlich,
- nur kleines Zeitfenster (nach RDV und vor Massenauftrag für die Nachuntersuchungen des Stützkörpers mittels Drucksondierungen),
- innerhalb des Sicherungsabschnittes ist nur ein Betriebspunkt für die Verdichtungsarbeiten möglich,
- bei Rutschungsereignissen steht für eine landseitige Zuführung von Verfüllungsmassen oder Antransport von Technik keine verdichtete und gesicherte Trasse zur Verfügung,
- Rückbau der Sicherungselemente und Auffüllung der temporären Umverlegung des Koblenzer Grabens im unverdichteten Kippengelände,
- Kosten für Technologieeinsatz sind teurer als bei landseitiger Variante,

- höheres Risiko von Kostensteigerungen durch technologische Abhängigkeiten als bei einer landseitigen Umsetzung,

Kosten

Für die Variante 1 ergeben sich die in folgender Tabelle aufgeführten Kosten für die entsprechenden Hauptschwerpunkte:

Tabelle 38: Kosten (Kostengruppen) Bereich D Ost Variante 1

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten [€]**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXX
Erdbau	XXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXX
Summe netto	XXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

6.5.2 Sicherungsvariante 2 – Versteckter Damm (landseitig)

Variantenbeschreibung

Die Variante 2 der betrachteten Sicherungsvarianten im Planungsabschnitt D Ost stellt die Sicherung der Kippenböschungen durch einen Versteckten Damm mittels landseitiger Herstellung dar.

Für diese Sicherungsvariante ist aus standsicherheitstechnischen Gründen ein 55 m bis 60 m breiter einteiliger Versteckter Damm im Ufer- und Hinterlandbereich zu erstellen. Die Verdichtung des Stützkörperbereiches hat bis zum Liegenden zu erfolgen. Der Verdichtungskörper befindet sich überwiegend im Bereich einer Tagebauberme und deren angrenzenden Böschungssystemen, so dass die erforderlichen Verdichtungstiefen 10 m bis 20 m betragen. Die Erstellung des Versteckten Dammes erfolgt mit einem auf dem Damm fahrenden landseitigen Trägergerät. Für die Errichtung ist das Planum der Verdichtungsarbeiten bis auf die seeseitige Außenkante des Versteckten Dammes zu verbreitern. Nach Ausführung der RDV erfolgt die Profilierung der Uferböschung vom Planum des Versteckten Dammes aus.

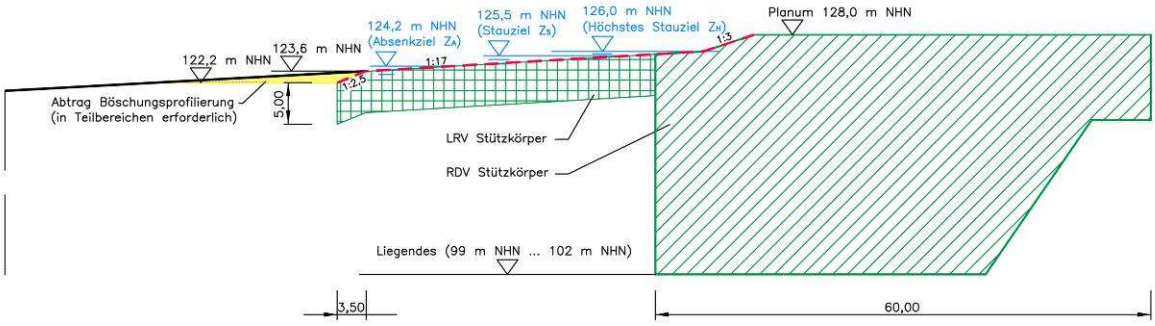

Abbildung 12: Regelprofil Versteckter Damm im Bereich D Ost – Variante 2

Zur Gewährleistung der Trittsicherheit ist in den Flachwasserbereichen eine oberflächennahe Rütteldruckverdichtung mit Verdichtungstiefen von 5 m bis zu einem Höhenniveau von +122,2 m NHN erforderlich. In Abschnitten in denen die Unterwasserböschung flacher einfällt als die erforderliche Strandneigung wird zusätzlich ein Massenabtrag erforderlich.

Zusätzlich zur Sicherung des Ufers und dessen Hinterland ist in D Ost der Koblenzer Graben als einer der drei Zuläufe zum Knappensee mittels Verstecktem Damm zu sichern. Die Sicherung erfolgt durch einen bis zum Liegenden bzw. an die Grenze Kippe / Gewachsenes reichenden Versteckten Damm. Im Bereich der vorhandenen Arbeitsberme ist die Sicherung des Koblenzer Grabens mittels Rüttelstopfverdichtung erforderlich. Der sich nördlich an die Berme anschließende Bereich des Grabens ist mittels RDV zu verdichten.

Während der Ausführung der Arbeiten an der Trasse des Grabens ist dieser temporär zu verlegen und für die Verdichtung zu verfüllen. Der die Dammtrasse querende MTS-Graben ist ebenfalls temporär zu verlegen.

Durch die überwiegende Sicherung des Hinterlandes ist für den Dammbereich keine Gewährleistung der erdfeuchten Überdeckung von 2,0 m NHN mehr erforderlich, so dass in der Endprofilierung auch Höhen < +128,00 m NHN bzw. +128,50 m NHN möglich sind. Eine Aufhöhung des vorhandenen Geländes auf eine Endhöhe von +128,5 m NHN ist nur im Anstrombereich und unverdichtetem Kippenboden östlich des Versteckten Dammes am Koblenzer Graben erforderlich.

Für die Baustelleneinrichtung bieten sich Feldflächen südlich des Uferabschnittes und südwestlich der Ortschaft Koblenz an. Die Startposition der RDV würde sich im mittleren Bereich des zu verdichtenden Dammbereiches befinden.

Die rechnerische Rückgriffweite für ein Setzungsfließereignis im Abschnitt D Ost beträgt ca. 250 m ab Böschungsschulter der Uferböschung, ist jedoch aufgrund der vorhandenen Kippenverhältnisse durch die obere Abraumkante begrenzt.

Beschreibung - Technologische Umsetzung

Vor Beginn der Verdichtungsarbeiten ist der komplette Bereich der Rütteltrassen von Bewuchs und Objekten zu räumen. Die vorhandenen Bäume sind zu fällen und zu roden.

Der Graben ist gegen Ausspülungen im Sohlbereich sowie im unteren Teil der Grabenböschungen mit losen Steinen gesichert. Diese sind auszuheben und zu entsorgen. Anstehende Bereiche mit Mudde im Bereich der Grabensohle sind ebenfalls auszuheben und zu entsorgen.

Das Fällen von den an der Uferböschung stehenden Bäumen bis einschließlich 20 m ins Hinterland erfolgt manuell und landseitig. Dabei ist zu beachten, dass die Bäume nicht in Richtung See umgelegt werden, so dass dadurch keine Verflüssigungen auslösende Initiale eingetragen werden können. Die sich landseitig anschließenden Holzungsbereiche können maschinell geholzt und gerodet werden. In der Beräumung und Holzung ist auch die Zuwegung des RDV-Gerätes zwischen Montageplatz und Verdichtungstrasse enthalten.

Der sich seeseitig anschließende Bereich ist auf der Länge der vorgesehenen oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) von Schilf- und Wurzelwerk zu beräumen. Diese Arbeiten sind durch seeseitige Technik wie bei der Variante 1 durchzuführen.

Für die Durchführung der landseitigen RDV ist das Trägergerät am dafür vorgesehenen Platz zu montieren und anschließend zur Startposition zu fahren. Die vorgesehene Startposition befindet sich in etwa auf halber Länge des zu verdichtenden Versteckten Dammes auf gewachsenem Untergrund. Als erstes erfolgt die Erstellung einer Verdichtungstrasse in Richtung Ufer. Diese wird folgend genutzt um die Verdichtung in einer ersten Phase nach Nordosten zu entwickeln.

Unter Beachtung der entsprechenden Vorlandbreite befindet sich das landseitige Trägergerät ständig auf bereits verdichtetem und gesichertem Untergrund. Während der RDV erfolgt eine Massenzugabe, so dass mittels Radlader den Rüttelbereichen im Vorkopfverfahren (Teleskopradlader) Material zugeführt wird. Dieser Vorgang dient gleichzeitig zur Schaffung und Profilierung des Planums des Versteckten Dammes. Bei dieser Vorgehensweise wird entsprechend der erforderlichen Breite des Versteckten Dammes im Vorkopfverfahren das Planum in Richtung See erweitert. Alle Massentransporte erfolgen über den bereits verdichteten Damm.

Um Rutschungen vorzubeugen, erfolgt die Ausführung der Rüttelarbeiten in Sicherheitsfahrweise, dies bedeutet, dass in Abhängigkeit von der Verdichtungsteufe Ruhezeiten zum Abklingen von Porenwasserüberdrücken einzuhalten sind. Zusätzlich werden die RDV-Arbeiten messtechnisch (mittels PWD-Messungen) begleitet.

Bei Annäherung der Verdichtungstrasse an den Koblenzer Graben hat die temporäre Umverlegung des Grabens zu erfolgen. Dabei wird der Graben in bereits verdichtetes Kippenmaterial gelegt. Der Graben ist abzudecken bzw. partiell zu überbauen, so dass ein Überfahren mit der Verdichtungstechnik ermöglicht wird.

Die Sicherung des Koblenzer Grabens erfolgt wie in Sicherungsvariante 1 beschrieben mittels Verfüllen, RSV und RDV und nachfolgender Profilierung. Nach Fertigstellung der RDV am Koblenzer Graben wird die Technik nach Südwesten umgesetzt und stellt den Versteckten Damm fortschreitend in dieser Richtung her. Auch die Sicherung des Koblenzer Grabens erfolgt in Sicherheitsfahrweise.

An der südlichen Grenze im Südwestteil des Abschnittes D Ost befindet sich ein Teich, der Wässer von Agrarflächen sammelt. Die Entwässerung dieses Teiches erfolgt über einen Zulauf (Betonrohr DN 1000) in den Knappensee. Während der Sicherungsarbeiten ist dieser Zulauf zu gewährleisten.

Nach Beendigung der landseitigen RDV ist vom Planum aus das Uferprofil im Bereich der unmittelbaren Uferböschung (1 : 3) zu erstellen. Anschließend erfolgt eine Profilierung des Strandbereiches mit amphibischer Technik. Im Nachgang ist analog der Variante 1 die leichte Rüttelverdichtung (Vorfeldsicherung) auszuführen. Nach Abschluss der Arbeiten ist der Strandbereich im Rahmen einer Feinprofilierung nachzugestalten. Für die Baustellenlogistik der Arbeiten mit seeseitiger und amphibischer Technik ist die Einsetzstelle in Groß Särchen zu nutzen.

Nach Beendigung der Tiefenverdichtungsarbeiten ist das Planum des Versteckten Dammes auch landseitig oberflächennah mittels Walzenzug nachzuverdichten.

Bei der Variante 2 wird der überwiegende Teil des Hinterlandes des Bereiches D Ost verdichtet und bebauungsfähiger Untergrund erstellt. Durch diesen Sachverhalt ist nur in kleineren Teilflächen außerhalb des Verdichtungsbereiches die erdfeuchte Überdeckung von $\geq$ 2,0 m bzw. $\geq$ 2,5 m im Grundwasseranstrombereich zu gewährleisten.

Sind alle Verdichtungs- und Erdbauarbeiten abgeschlossen, erfolgen im Nachgang die Rekultivierungsarbeiten.

Für die Qualitätssicherung der Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ist ein Geotechnisches Messprogramm zu planen und in der Ausführung umzusetzen.

Die vorstehend ausführlich beschriebenen auszuführenden Arbeiten zur Herstellung des Versteckten Dammes lassen sich in folgende Teilschritte gliedern:

1. Baufeldberäumung (Holzung, Schilfschnitt) im Bereich des Ufers und der Verdichtung
2. Vorsondierungen RDV,
3. Herstellung Arbeitsplanum für RDV – Gerät,
4. RDV mit Massenzugabe - Vortrieb nach Nordost,
5. Bei Annäherung der Verdichtungsarbeiten von 50 m zum Koblenzer Graben Schaffung einer temporären Umverlegung auf bereits verdichtetem Dammbereich,
6. Sicherung der Trasse mittels RDV und RSV des Koblenzer Grabens,
7. RDV mit Massenzugabe – Vortrieb nach Südwest,
8. Nachsondierung RDV,
9. Profilierung der Uferböschung,
10. Nachverdichtung des landseitigen Versteckten Dammes mittels Walzenzug,
11. Vorsondierung LRV
12. Ausführung der seeseitigen oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) und seeseitiger Massenabtrag
13. Nachsondierungen LRV
14. Rekultivierung Bewuchs im Bereich der bearbeiteten Flächen (Bäume, Rasen, Schilf).

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 39: Mengenaufgliederung Bereich D Ost Variante 2

Leistung	ME	Menge
Abbruch und Beräumung		
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	ha	2,9
Holzung, Beräumung (maschinell) – Erdbaubereiche	ha	5,8
Beräumung, Rodung	ha	8,7
Beräumung Schilf	ha	1,4
Abbruch baulicher Anlagen (inkl. Bungalows)	Stk	13,0
Bauzeitliche Umverlegung Koblenzer Graben	psch	1,0
Erdbau		
Oberbodenabtrag, Zwischenlagerung, einbauen	m³	19.500
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	m³	20.000
Seeseitig Massen transportieren, einbauen o. übergeben	m³	6.000
Landseitig Massen transportieren und einbauen	m³	40.500
Bodenmaterial liefern, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	m³	98.000
Verdichtungsleistungen		
RDV, landseitige Ufersicherung Versteckter Damm: Breite 55 bis 60 m, Länge 772 m	m³	650.000
RDV, landseitige Sicherung des Koblenzer Grabens Versteckter Damm: Breite 40 m, Länge 150 m	m³	110.000
RSV, landseitig,	m³	16.000
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 5m	m³	180.000
Oberflächennahe landseitige Verdichtung (Walzenzug)	m³	87.000
Rekultivierung		
Anpflanzung, Ansaat	ha	8,7

Randbedingungen der Sicherungsarbeiten

Für die Ausführung der landseitigen Verdichtungsarbeiten ist für den Verdichtungserfolg ein möglichst niedriger Wasserstand anzustreben. Da jedoch parallele Arbeiten stattfinden könnten, die einen möglichst hohen Wasserstand erfordern, steht als Anforderung die Gerätestandsicherheit im Mittelpunkt. Für die Gerätestandsicherheit ist für das Trägergerät auch auf der verdichteten Fahrtrasse eine erdfeuchte Überdeckung von +2,0 m zu gewährleisten. Entsprechend den vorhandenen Geländeverhältnissen ist eine Wasserspiegelhöhe von +125,5 m NHN nicht zu überschreiten.

Der komplette unverdichtete Kippenbereich im Abschnitt D Ost ist während der Sicherungsarbeiten als bzgl. Verflüssigungen und Setzungsfließrutschungen gefährdetes Gebiet einzustufen.

Während der Ausführung der Arbeiten ist für die Kippenflächen ein Sperrbereich einzurichten.

Vor Beginn der Arbeiten sind Beweissicherungsmaßnahmen an Bauwerken, bei denen Schäden durch die Erschütterungen infolge der Rüttelarbeiten nicht ausgeschlossen werden können, zu realisieren (Fotodokumentation, Rissdokumentation und -monitoring).

Vor Beginn der Sicherungsarbeiten sind die erforderlichen Mediensicherungsarbeiten umzusetzen.

Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)

Da die Maßnahmen der Gefahrenabwehr im öffentlichen Raum stattfinden, bedingt die Umsetzung der Sicherungsvarianten eine große Auswirkung auf Dritte in Form von:

- Beräumungsarbeiten (Holzung, Rodung, Abriss von Objekten, Medienumverlegungen) im Bereich der Verdichtung sowie Flächen des erforderlichen Massenauftrages,
- Einschränkung der Nutzung (Sperrung und Nutzungsausfall, Medien),
- Technologisch bedingte Einwirkungen (wie Erschütterungseinträge durch Rütteldruckverdichtungsarbeiten),
- Beeinträchtigung der Flora und Fauna,
- Gefahr von Setzungsfließrutschungen innerhalb der ungesicherten Kippenflächen im Sperrbereich,
- Lärm- und Staubemissionen im Zusammenhang mit der Bautätigkeit,
- Verkehrseinschränkungen in den Zufahrtsbereichen zur Baustelle und zur Einsetzstelle durch Baustellenverkehr.

Analog der Sicherungsvariante 1 sind vor Ausführung Beweissicherungsmaßnahmen an gefährdeten Objekten (Gebäudesubstanz, Gebäudekonstruktion, bauliche Vorschädigungen usw.) durch Gutachter auszuführen und eine Bewertung des für die Objekte spezifisch zulässigen Schwingungseintrages vorzunehmen. Die Auswirkungen der RDV sind während der Ausführung mittels einer baubegleitenden Beweissicherung (Setzungs- und Schwingungsmessungen) zu überwachen.

Die Auswirkungen der Umsetzung der Sicherungsvariante 2 auf Dritte sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 40: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D Ost Sicherungsvariante 2

Beräumungsarbeiten	
Holzung und Rodung	8,7 ha / in 5 Flurstücken
Waldflächen (Rodung)	1,06 ha
Beräumung (massiv)	1 Finnhütte, 1 Lagergebäude, 1 Fußgängerbrücke
Beräumung Bungalow	10 Stk.
Beräumung Wohnwagen umbaut	28 Stk.
RDV – Einwirkung	
Betroffene Flurstücke Abstand bis 50 m	26 Flurstücke
Betroffene Flurstücke Abstand von 50 m bis 150 m	85 Flurstücke
Beweissicherung an Objekten	ca. 130 Stk. (überwiegend Wohnbebauung)
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich (parallel Planungsstand 2012)	4 Jahre
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	Verdämmen von Schmutzwasser-, Trinkwasser- und Gasrohrleitungen, Trinkwasserleitungen sichern, Schmutzwasserentsorgung und Gasversorgung sichern, Rückbau elektrischer Anlagen, Rückbau Telekomeinrichtungen
Objektsicherung (Bungalows)	0 Objekte

Vorteile der Sicherungsvariante

Vorteile einer landseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes im Bereich D Ost sind:

- die landseitige Herstellung des Versteckten Dammes ist eine vielfach bewährte Technologie mit geringeren technologischen bzw. logistischen Risiken gegenüber einer seeseitigen Herstellung,
- die Sicherung mittels landseitigem Versteckten Damm erfasst den überwiegenden Teil des Hinterlandbereiches von D Ost, so dass nur geringfügige Geländeaufhöhungen zur Gewährleistung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung erforderlich werden,
- geringe Beeinflussung der Seewasserqualität während der RDV,
- mit Herstellung der Startposition besteht die Möglichkeit an mindestens zwei Betriebspunkten die Verdichtungsarbeiten auszuführen, so dass in Havariefällen (Rutschungen etc.) eine Ausweichmöglichkeit für die Fortführung der Arbeiten besteht,
- Massenzuführung und -logistik erfolgt landseitig, somit ergibt sich auch eine Entlastung der Einsetzstelle,
- ermöglicht die parallele Bearbeitung von Uferbereichen (bei gleichzeitigen seeseitigen Einsatz seeseitiger Technik in einem anderen Uferabschnitt)
- weitgehende Zeitunabhängigkeit für Qualitätsprüfungen der Verdichtungsleistungen,
- für landseitige Nachprüfungen ist neben der Sondier- und Probenahmetechnik keine zusätzliche Technik erforderlich,

- Schaffung von bebauungsfähigen Untergrund im überwiegenden Teil des Hinterlandes,
- die temporäre Verlegung des Koblenzer Grabens als auch des MTS-Grabens kann auf bereits verdichtetem Untergrund erfolgen, so dass Risiken und Sicherungsaufwendungen der temporären Verlegung minimiert werden.

Nachteile der Sicherungsvariante

Nachteile einer landseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes im Bereich D Ost sind:

- Massenzugabe zum Erzielen einer ausreichenden Verdichtung und zum Erhalt des Planumsniveaus notwendig,
- größere erforderliche Dammbreite als bei der seeseitigen Herstellung,
- vor Ausführung der RDV muss die Trasse vollständig beräumt werden,
- größere landseitige Ausbreitung der RDV – Erschütterungseinwirkung als bei seeseitiger Herstellung erhöht den Aufwand an Beweissicherungsmaßnahmen und ggf. an Mediensicherung,
- Baustellenverkehr erfolgt unmittelbar im Bereich der Ortschaft Koblenz,
- ein hoher Aufwand an Mediensicherungs- und -umverlegungsarbeiten.

Der Sachverhalt der größeren erforderlichen Dammbreite relativiert sich in den Umfängen der Rüttelvolumina dahingehend, dass die Erstellung im Planungsabschnitt D Ost überwiegend im Bereich einer ehemaligen Tagebauberme erfolgt und somit die erforderlichen Verdichtungstiefen geringer sind.

Kosten

Tabelle 41: Kosten (Kostengruppen) Bereich D Ost Variante 2

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten [€]**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXX
Erdbau	XXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXX
Summe netto	XXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

6.5.3 Variantenvergleich

Die beiden beschriebenen und untersuchten Varianten der Sicherung des Uferabschnittes D Ost setzen die erforderliche Gefahrenabwehr mittels Errichtung eines Versteckten Dammes um. Die Erstellung des Dammes erfolgt für beide Varianten mittels Rütteldruckverdichtung und einer oberflächennahen Rüttelverdichtung.

Die Variante 1 setzt die Erstellung des Dammes vom See aus um, während die Variante 2 die Erstellung von der Landseite aus untersucht und betrachtet.

Die technologischen Abläufe sind für beide Varianten vergleichbar. Wesentliche Unterschiede liegen vor allem in den erforderlichen Mengen und Kosten.

Jedoch besteht bei der Variante 2 der grundlegende Unterschied zur Variante 1 darin, dass die Lage des Dammes von der Uferböschung ausgehend bis ins Hinterland, bereichsweise bis zur oberen Abraumkante, reicht. Dies hat den grundlegenden Vorteil, dass auch das Hinterland im Bereich D Ost bei der Umsetzung der Variante 2 durch Verdichtung gesichert wird, während bei der Variante 1 im Hinterland die Verflüssigungsgefahr durch die Schaffung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung gemindert wird, grundsätzlich jedoch fortbesteht.

Durch eine landseitige Lage des Versteckten Dammes im Bereich D Ost erhöhen sich auch die Erschütterungsaus- bzw. Einwirkungen auf das Hinterland. Betroffen sind hierbei vor allem die Ortschaften Koblenz im Nordosten und Groß Särchen im Südosten. Bei der Betrachtung des Umfangs der erforderlichen Beweissicherungsmaßnahmen relativiert sich jedoch dieser Sachverhalt. So sind in der Variante 2 insgesamt 111 Flurstücke und in der Variante 1 nur 103 Flurstücke in einer Entfernung bis 150 m zur RDV-Einwirkung betroffen.

Die Unterschiede in wesentlichen Leistungspunkten und Kosten zeigt die Tabelle 42.

Die Gesamtauflistung des Kostenvergleiches für den Bereich D Ost ist in Anlage 5 ersichtlich.

Die in Tabelle 42 aufgezeigten Positionen der Holzung und Beräumung weisen für die Variante 2 einen deutlich höheren Anteil auf, da ein größerer Flächenanteil im Hinterland beräumt werden muss. So sind in der Variante 1 weniger Bungalows und umbaute Wohnwagen abzureißen als in Variante 2. Jedoch ist auch bei Variante 1 nicht auszuschließen, dass durch die RDV-Einwirkungen die gegenüber Variante 2 nicht zu räumenden Bungalows und Wohnwagen, erhebliche Schädigungen erleiden können. Auch für die nach Beendigung der Arbeiten erforderliche Rekultivierung ist in Variante 2 mit 8,7 ha ein höherer Umfang als bei Variante 1 ermittelt worden.

Als ein weiterer Hauptpunkt des Vergleiches beider Varianten sind in Tabelle 42 die wesentlichen Unterschiede in den erforderlichen seeseitigen und landseitigen Massenbewegungen ausgeführt. Hierbei wird deutlich, dass die seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes intensiven seeseitigen Massentransportes bedarf. Diese sind gegenüber der landseitigen Variante zusätzlich risikobehaftet. So können sich Massenänderungen aber auch ablauftechnische Probleme (Stillstände etc.) bei der Variante 1 kostenintensiver als bei der Variante 2 auswirken.

Tabelle 42: Vergleich einzelner Kostenpositionen Bereich D Ost Varianten 1 und 2

Leistung	Variante 1		Variante 2	
	Menge	Kosten [€]	Menge	Kosten [€]
Abbruch und Beräumung				
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	2,9 ha	XXXXXXX	2,9 ha	XXXXXXX
Holzung, Beräumung (maschinell) – Erdbaubereiche	3,3 ha	XXXXXXX	5,8 ha	XXXXXXX
Beräumung, Rodung	5,1 ha	XXXXXXX	8,7 ha	XXXXXXX
Schilfmahd und Entsorgung	1,35 ha	XXXXXXX	1,35 ha	XXXXXXX
Abbruch baulicher Anlagen	1	XXXXXXX	1,0	XXXXXXX
Erdbau				
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	100.000 m³	XXXXXXX	20.000 m³	XXXXXXX
Seeseitig Massen transportieren, einbauen o. übergeben	42.000 m³	XXXXXXX	6.000 m³	XXXXXXX
Bodenmaterial liefern, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	18.500 m³	XXXXXXX	98.000m³	XXXXXXX
Landseitig Massen transportieren und einbauen	26.500 m³	XXXXXXX	40.500 m³	XXXXXXX
Verdichtungsleistungen				
RDV, landseitige Ufersicherung (inkl. Kobl. Graben)	110.000 m³	XXXXXXX	760.000 m³	XXXXXXX
RDV, seeseitige Ufersicherung	600.000 m³	XXXXXXX	0 m³	XXXXXXX
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 5m	250.000 m³	XXXXXXX	180.000 m³	XXXXXXX
Oberflächennahe landseitige Verdichtung (Walzenzug)	0 m³	XXXXXXX	87.000 m³	XXXXXXX
Rekultivierung				
Summe Rekultivierung	5,1 ha	XXXXXXX	8,7 ha	XXXXXXX
Mediensicherung				
Summe Mediensicherung		XXXXXXX		XXXXXXX
Entschädigungsleistungen				
Summe Entschädigungsleistungen		XXXXXXX		XXXXXXX

Bei den Verdichtungsleistungen ist bei der Variante 2 ein deutlich breiterer Versteckter Damm erforderlich. Aufgrund der Lage des Versteckten Dammes im Bereich einer Tagebauberme ist jedoch bei der Variante 2 das erforderliche Verdichtungsvolumen mit 650.000 m³ nur geringfügig höher als bei der Variante 1 mit 600.000 m³. Bei der Betrachtung der erforderlichen seeseitigen oberflächennahen Rütteldruckverdichtung zeigt sich der Bedarf mit 180.000 m³ bei der Variante 2 günstiger als bei Variante 1 mit 250.000 m³.

Auch aus logistischer Sicht sowie unter dem Aspekt, dass alle Erdbauarbeiten als auch die temporären Umverlegungen von Koblenzer Graben und MTS-Graben auf bereits gesichertem Untergrund erfolgen, lässt die Variante 2 vorteilhafter erscheinen.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Alternativvariante 2 ist deren autarke Abarbeitungsmöglichkeit. So sind die einzelnen Leistungen bis auf den seeseitigen Massenaushub und die oberflächennahe Rütteldruckverdichtung ohne Abstimmung der in den anderen Uferbereichen stattfindenden Gefahrenabwehrmaßnahmen ausführbar. Eine Ausnahme bildet der nordöstliche Anschluss an die Sicherung des Uferbereiches G. Aus Gründen der Standsicherheit bei der Umsetzung der Sicherungsarbeiten am Koblenzer Graben sollte vor den Sicherungsarbeiten im Abschnitt D Ost die Erstellung des Versteckten Dammes in G Süd mit Übergang zu D Ost abgeschlossen sein.

Weiterhin wird bei der Variante 2 durch die landseitige Anordnung des Versteckten Dammes bebauungsfähiger Untergrund geschaffen.

Bei der Variante 1 ist gegenüber der Variante 2 mit einem hohen Risiko der Kostensteigerung bei einem Rutschungsereignis zu rechnen. Ursache hierfür ist das Potential an „rutschbaren“ Massen, das bei einer landseitigen Herstellung des Versteckten Dammes (Variante 2) reduziert wird.

Die hohen Aufwendung im Rahmen der erforderlichen Mediensicherung und Entschädigungsleistungen charakterisieren den Unterschied zwischen den beiden Varianten dahingehend, dass die Summe der Mediensicherung und Entschädigungsleistungen mit XXXXXXXX bei der Variante 2 XXXXXXXXXXX der Variante 1 entspricht.
Der Kostenvergleich zeigt unter Berücksichtigung eines Zuschlages von XXX für die Variante 2 (Vorplanungsniveau) eine Summe von XXXXXXX gegenüber der Variante 1 (Entwurfsplanung Zuschlag XXX) mit XXXXXXX**.**

Die Alternativenprüfung zeigt somit, dass sich die Variante 2, die Erstellung des Versteckten Dammes landseitig, als die wirtschaftlichere Variante darstellt. Zudem besitzt die Variante 1 aufgrund der komplexen und ineinandergreifenden Technologieabläufe ein höheres Ausführungsrisiko als die Variante 2.

6.6 Alternativenprüfung - Bereich D Mitte

6.6.1 Sicherungsvariante 1 – Versteckter Damm (seeseitig)

Kippenverhältnisse

In der Vorplanung aus dem Jahre 2008 ([36]) war für den Bereich D Mitte die Herstellung eines seeseitigen Versteckten Dammes mittels RDV bis zum Liegenden geplant. Da die Kippenverhältnisse nicht eindeutig bekannt und erkundet waren, erfolgte die Verifizierung des Kenntnisstandes durch 9 Rammsondierungen. Die Rammsondierungen wurden von der Landseite aus bis zu einer maximalen Tiefe von 10 m ausgeführt. Die Sondierergebnisse sind in den Anlagen 3.4.1 bis 3.4.3. ersichtlich. Die Auswertung der Sondierung zeigt deutlich das Vorhandensein einer Tagebauberme im Teufennievau von ca. +118,0 m NHN. Ab welcher Entfernung vom Uferbereich sich innerhalb der Kippe die Böschung der Kippenbasis bis hin zur Freilegungsgrenze befindet, ist nicht bekannt.

Die im Abschnitt D Mitte rechnerisch ermittelten Rückgriffweiten liegen größtenteils im Gewachsenen, so dass mögliche Rutschungen durch die Grenze Kippe / Gewachsenes beziehungsweise von der oberen Abraumgrenze begrenzt sind.

Variantenbeschreibung

Aufgrund der im Kippenbereich von D Mitte befindlichen Berme ist eine seeseitige Ausführung rein mittels LRV möglich. Aus statischen Gründen wird wie in allen südlichen Uferbereichen ein Versteckter Damm mit einer Mindestbreite von 31,0 m erforderlich. Die Verdichtung erfolgt bis zum Liegenden im Bereich der Tagbeauberme mittels LRV.

Das Hinterland im Bereich D Mitte weist im stationären Endzustand der Grundwasserverhältnisse keine ausreichend große erdfeuchte Überdeckung auf. Deshalb ist das Hinterland bis zu einem Höhenniveau von h $\geq$ +128,00 m NHN mit Erdstoff aufzufüllen.

Für die Bereiche, in denen sich direkt an den Verdichtungsquerschnitt mittels LRV die Böschung der Kippenbasis anschließt, ist ein 10 m breiter Versteckter Damm bis zum Liegenden zusätzlich vorzusehen.

Nach Herstellung des Versteckten Dammes erfolgt eine seeseitige Profilierung des Abschnittes mit einer Böschung von 1 : 15 bis zu einem Niveau von +126,0 m NHN. Die anschließende Böschung wird mit einer Neigung von 1 : 3 direkt auf den Versteckten Damm aufgetragen und profiliert.

Beschreibung der technologischen Umsetzung

Vor Beginn der seeseitigen Verdichtungsmaßnahmen ist der Kippenbereich D Mitte vom vorhandenen Bewuchs mittels Holzung und Schilfschnitt zu beräumen.

Das Fällen von den an der Uferböschung sowie im Hinterland stehenden Bäumen erfolgt manuell und landseitig. Dabei ist zu beachten, dass die Bäume nicht in Richtung See umgelegt werden, so dass durch die Bäume keine Verflüssigungen auslösende Initiale in den Untergrund eingetragen werden können.

Die Technologie der oberflächennahen Rüttelverdichtung ist bis zu einer Arbeitstiefe von ca. 8 m bis 9 m und einer Mächtigkeit der verdichtbaren Kippenmaterialien von ca. 5 m bis 6 m beschränkt. Die Verdichtung des Versteckten Dammes im Bereich der Arbeitsberme erfolgt in zwei Teilschritten. Vor Ausführung des ersten Verdichtungsteilschrittes ist der Seeboden im Bereich des Versteckten Dammes bis zu einem Niveau von +123,0 m NHN seeseitig abzubaggern. Danach erfolgt die Verdichtung bis zur Grenze Kippe / Gewachsenes mittels oberflächennaher Rüttelverdichtung (LRV).

Wie bereits aufgeführt, ist nicht bekannt wie weit das Bermenniveau von +118,0 m NHN in Richtung See reicht. Bei dieser Variantenbetrachtung wird vorbehaltlich einer seeseitigen Erkundung der Berme für den seeseitigen Abschluss des geplanten Dammes ein 10 m breiter RDV - Körper vorgesehen. Sollte sich in der Vorerkundung zeigen, dass die Berme über die gesamte Breite des geplanten Versteckten Dammes erstreckt, entfällt der zusätzliche RDV – Damm (seeseitige Herstellung).

Nach Ausführung des ersten Teiles der LRV erfolgen ein seeseitiger Massenauftrag und die Ausführung des zweiten Teiles der LRV zur Vervollständigung des Versteckten Dammes.

Nach Abschluss aller Verdichtungsarbeiten zur Herstellung des Versteckten Dammes erfolgt die Feinprofilierung der Dammoberfläche und der sich daran anschließenden Uferböschung. Die Feinprofilierung der Uferböschung erfolgt mittels amphibischer Technik von der Seeseite aus. Das sich ans Ufer anschließende Böschungsprofil wird mit einer Böschungsneigung von 1 : 3 hergestellt.

Flächen für Montage- und Einsetzen der seeseitigen Technik sind an der Einsetzstelle vorhanden. Ebenso erfolgen die Massenumschläge der seeseitigen Aushub- sowie Auftragsmassen über diesen Bereich.

Für die Durchführung der oberflächennahen Rütteldruckverdichtung (LRV) ist nur amphibische Gerätetechnik geeignet, da der Einsatz sowohl an Land als auch im Wasser erfolgen muss.

Für die Qualitätssicherung der Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ist ein Geotechnisches Messprogramm zu planen und in der Ausführung umzusetzen.

Die vorstehend umschriebenen Leistungen zur Herstellung des Versteckten Dammes lassen sich in folgende Teilschritte gliedern:

1. Baufeldberäumung (Holzung, Schilfschnitt) im Bereich des Ufers und der Verdichtung,
2. Vorsondierungen RDV und LRV,

3. Seeseitiger Aushub auf Niveau von +123,0 m NHN im Dammbereich zur Schaffung der erforderlichen Tiefe für den ersten Verdichtungsteil der LRV - Einheit,
4. LRV – Teil 1 von +123,0 m NHN bis +118,0 m NHN und ggf. RDV,
5. Nachsondierung LRV Teil 1 und RDV
6. Seeseitiger Massenauftrag zur Auffüllung für die LRV (Teil 2) und zur Vorbereitung der Böschungskonturierung (Vorprofilierung),
7. Vorsondierung LRV Teil 2
8. LRV – Teil 2,
9. Nachsondierungen LRV Teil 2,
10. Landseitiger Erdbau / Geländeprofilierung,
11. Rekultivierung Bewuchs im Bereich der bearbeiteten Flächen (Bäume, Rasen, Schilf).

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 43: Mengenaufgliederung Bereich D Mitte Variante 1

Leistung	ME	Menge
Abbruch und Beräumung		
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	ha	0,54
Beräumung, Rodung	ha	0,54
Schilfmahd	ha	0,11
Abbruch baulicher Anlagen	Stk.	-
Erdbau		
Oberbodenabtrag, Zwischenlagerung, einbauen	m³	800
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	m³	12.000
Seeseitig Massen transportieren, einbauen o. übergeben	m³	7.000
Landseitig Massen transportieren und einbauen	m³	0,0
Bodenmaterial liefern, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	m³	3.000
Verdichtungsleistungen		
LRV, seeseitige Ufersicherung Versteckter Damm: Breite 31 m, Länge 90 m	m³	25.500
RDV (optional als Sicherung) Breite 10 m, Länge 90 m	m³	18.000
Rekultivierung		
Anpflanzung, Ansaat	ha	0,4

Randbedingungen

Zur Ausführung der seeseitigen Arbeiten ist aus geotechnisch-technologischen Gesichtspunkten ein möglichst hoher Wasserstand im Restlochgewässer zu gewährleisten. Aus planerischer Sicht wird von der Bereitstellung eines Wasserspiegels im Niveau von +125,5 m NHN ausgegangen.

Der komplette Kippenbereich im Abschnitt D Mitte ist während der Sicherungsarbeiten als bzgl. Verflüssigungen und Setzungsfließrutschungen gefährdetes Gebiet einzustufen.

Der uferparallel verlaufende Versteckte Damm aus LRV ist vor Beginn der im Abschnitt D Mitte erforderlichen landseitigen Massenauftragsarbeiten fertig zu stellen.

Während der Ausführung der Arbeiten ist für die Kippenflächen ein Sperrbereich einzurichten.

Für die Zuführung als auch den Abtransport von Technik und Massen zum See ist die vorhandene Einsetzstelle nördlich von Groß Särchen zu nutzen. Sie stellt die einzige Schnittstelle zwischen See und Land dar.

Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)

Da die Maßnahmen der Gefahrenabwehr im öffentlichen Raum stattfinden, bedingt die Umsetzung der Sicherungsvarianten eine große Auswirkung auf Dritte in Form von:

- Beräumungsarbeiten (Holzung, Rodung, Abriss von Objekten) im Bereich der Verdichtung sowie Flächen des erforderlichen Massenauftrages,
- Einschränkung der Nutzung (Sperrung und Nutzungsausfall, Medien),
- Technologisch bedingte Einwirkungen (wie Erschütterungseinträge durch Rütteldruckverdichtungsarbeiten),
- Beeinträchtigung der Flora und Fauna,
- Gefahr von Setzungsfließrutschungen innerhalb der ungesicherten Kippenflächen im Sperrbereich,
- Lärm- und Staubemissionen im Zusammenhang mit der Bautätigkeit,
- Verkehrseinschränkungen in den Zufahrtsbereichen zur Baustelle und zur Einsetzstelle durch Baustellenverkehr,
- Temporäre Beeinträchtigung der Seewasserqualität (Trübung) durch die seeseitigen Arbeiten.

Durch die geringe räumliche Ausdehnung des Bereiches D Mitte sind jedoch die Auswirkungen auf Dritte gegenüber den anderen zu sichernden Uferabschnitten am Knappensee als gering einzustufen.

Sollte durch die Kippenverhältnisse im Bereich D Mitte dennoch ein zusätzlicher Verdichtungsabschnitt mittels RDV notwendig werden, so kann unter Umständen die Ausbreitung der Schwingungen der Rütteldruckverdichtungen in die angrenzenden Bereiche zu Schäden an baulichen Objekten führen. Entsprechende Beweissicherungsmaßnahmen sind für diesen Fall vorzusehen.

Tabelle 44: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D Mitte Sicherungsvariante 1

Beräumungsarbeiten	
Holzung und Rodung	0,54 ha
Waldflächen (Rodung)	0,0 ha
Beräumung (massiv)	-
Beräumung Bungalow	0 Stk.
Beräumung Wohnwagen umbaut	0 Stk.
RDV – Einwirkung (nach Erfordernis)	
Betroffene Flurstücke Abstand bis 50 m	1 Flurstück
Betroffene Flurstücke Abstand von 50 m bis 150 m	8 Flurstücke
Beweissicherung an Objekten	ca.8 Stk.
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich (bereichsbezogener Anteil)	0,5 Jahre
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	-
Objektsicherung (Bungalows)	-

Vorteile der Sicherungsvariante

Vorteile einer seeseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes im Bereich D Mitte sind:

- Gerätestandsicherheit wird durch schwimmende Technik gewährleistet, so ist die zusätzliche Schaffung einer für diesen Abschnitt unwirtschaftlicher, sicherer Startpositionen der Gerätetechnik nicht erforderlich,
- Herstellung des Versteckten Dammes im Bereich einer Tagebauberme (geringe Verdichtungsvolumina)
- Stützkörper liegt überwiegend im Uferböschungsbereich der hydrodynamischen Ausgleichsböschung.

Nachteile der Sicherungsvariante

Nachteile einer seeseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes im Bereich D Ost sind:

- hohe logistische Anforderung aufgrund der schwimmenden Technik und Nutzung des Sees als Transportweg,
- ausreichend dimensionierte Einsetzstelle für Geräteeinsetzen und Massenumschlag erforderlich,
- Seewasserspiegel muss während der gesamten Sicherung dieses Abschnittes im Niveau von +125,5 m NHN gehalten werden - Technikeinsatz ist stark von der Lage des Wasserspiegels abhängig,
- Beeinflussung und Trübung des Seewassers zu erwarten,
- nach Rütteldruckverdichtung und vor seeseitiger oberflächennaher Rüttelverdichtung ist Massenauftrag mit Profilierung erforderlich,
- Kosten für Technologieeinsatz sind teurer als bei landseitiger Variante,
- höheres Risiko von Kostensteigerungen durch technologische Abhängigkeiten als bei einer landseitigen Umsetzung.

Kosten

Für die Variante 1 ergeben sich die in folgender Tabelle aufgeführten Kosten für die entsprechenden Hauptschwerpunkte:

Tabelle 45: Kosten (Kostengruppen) Bereich D Mitte Variante 1

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten [€]**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXXX
Erdbau	XXXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXXX
Summe netto	XXXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

Die in Tabelle 45 unter Punkt Baustelleneinrichtung aufgeführten Kosten setzen eine gemeinsame Umsetzung mit einer Sicherungsvariante in einem anderen Uferabschnitt voraus. Eine einzelne Umsetzung würde sich stark kostensteigernd auf die Positionen der Baustelleneinrichtung auswirken.

6.6.2 Sicherungsvariante 2 – Massenabtrag

Kippenverhältnisse

Für die Variantenuntersuchung des Abschnittes D Mitte erfolgten Erkundungsaufschlüsse zur Verifizierung der Kippenverhältnisse (Ergebnisse siehe Kapitel 6.5.1).

Beschreibung der Variante

Unter Variante 9 (siehe Kapitel 5.2.16) der allgemeinen Beschreibung von Sicherungs- und Sanierungsvarianten der Kippenbereiche am Knappensee wurde der Aushub der zur Verflüssigung neigenden Kippenmaterialien betrachtet. Im Ergebnis dieser Betrachtung stand, dass eine Anwendung nur für Teilbereiche denkbar wäre. Aufgrund der in der Nacherkundung erkundeten Berme sowie der eng begrenzten Kippenverhältnisse im Uferabschnitt D Mitte wird für diesen Bereich ein Aushub der Kippenmaterialien als Alternativvariante zum Versteckten Damm betrachtet.

Bei dieser Variante werden die Kippenmaterialien bis zu einem Niveau von +122,2 m NHN vollständig ausgehoben. Die Randbereiche werden 1 : 3 im Gewachsenen abgeböscht. Die Sicherung der Böschungen ist mit Wasserbausteinen geplant.

Beschreibung - Technologische Umsetzung

Die Umsetzung der Variante 2 – Aushub der Kippenmaterialien in D Mitte lässt sich in folgende Teilschritte gliedern:

1. Baufeldberäumung im Ufer- und Hinterlandbereich
2. Landseitiger und seeseitiger Aushub der Kippenmaterialien und Verbringung an Land (ggf. Nutzung als Auffüllmaterialien),
3. Landseitige Profilierung der Uferböschungen und Sicherung mittels Wasserbausteinen,
4. Seeseitige Profilierung der Sohle (Niveau +122,2 m NHN),
5. Rekultivierung von angrenzenden beanspruchten Flächen.

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 46: Mengenaufgliederung Bereich D Mitte Variante 2

Leistung	ME	Menge
Abbruch und Beräumung		
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	ha	0,8
Beräumung, Rodung	ha	0,8
Beräumung Schilf	m³	0,11
Abbruch baulicher Anlagen		-
Erdbau		
Oberbodenabtrag, Zwischenlagerung, einbauen	m³	1.280
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	m³	0
Seeseitig Massen transportieren, einbauen o. übergeben	m³	6.000
Landseitig Massen transportieren und einbauen	m³	23.000
Einbau Wasserbausteine	t	2.720
Verdichtungsleistungen	-	-
Rekultivierung		
Anpflanzung, Ansaat	ha	0,02

Randbedingungen der Sicherungsarbeiten

Für die Zuführung als auch den Abtransport von Technik und Massen zum See ist die vorhandene Einsetzstelle nördlich von Groß Särchen zu nutzen. Sie stellt die einzige Schnittstelle zwischen See und Land dar.

Der komplette unverdichtete Kippenbereich im Abschnitt D Mitte ist während der Sicherungsarbeiten als bzgl. Verflüssigungen und Setzungsfließrutschungen gefährdetes Gebiet einzustufen.

Die seeseitigen Aushubmassen sollten nach Möglichkeit in anderen Sicherungsbereichen als Auffüllmassen Verwendung finden.

Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)

Da die Maßnahmen der Gefahrenabwehr im öffentlichen Raum stattfinden, bedingt die Umsetzung der Sicherungsvarianten eine große Auswirkung auf Dritte in Form von:

- Beräumungsarbeiten (Holzung, Rodung, Abriss von Objekten) im Bereich der Verdichtung sowie Flächen des erforderlichen Massenauftrages,
- Einschränkung der Nutzung (Sperrung),
- Beeinträchtigung der Flora und Fauna,
- Gefahr von Setzungsfließrutschungen innerhalb der ungesicherten Kippenflächen im Sperrbereich,
- Lärm- und Staubemissionen im Zusammenhang mit der Bautätigkeit,

- Verkehrseinschränkungen in den Zufahrtsbereichen zur Baustelle und zur Einsetzstelle durch Baustellenverkehr,
- Geringe temporäre Beeinträchtigung der Seewasserqualität (Trübung) durch die seeseitigen Arbeiten möglich .

Die Auswirkungen der Umsetzung der Sicherungsvariante 2 auf Dritte sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 47: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D Mitte Sicherungsvariante 2

Beräumungsarbeiten	
Holzung	0,8 ha
Waldflächen (Rodung)	0 ha
Beräumung (massiv)	-
Beräumung Bungalow	0 Stk.
Beräumung Wohnwagen umbaut	0 Stk.
RDV – Einwirkung	*keine*
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich (bereichsbezogener Anteil)	0,5 Jahre
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	-

Vorteile der Sicherungsvariante

Vorteile des Aushubes der Kippenmaterialien im Bereich D Mitte sind:

- Geringe Anforderungen an die Technologie der Umsetzung der Sicherungsvariante,
- die Sicherungsvariante ist nur noch als reine Erdbaumaßnahme charakterisiert, geringe Beeinflussung der Seewasserqualität,
- keine Schwingungseinwirkungen in umgebende Bereiche,
- die verflüssigungsgefährdeten Kippenmaterialien werden überwiegend entfernt und somit die verbleibenden Restrisiken stark minimiert,

Nachteile der Sicherungsvariante

Nachteile des Aushubes der Kippenmaterialien im Bereich D Mitte sind:

- Transport und Weiterverwertung der Aushubmaterialien,
- Veränderung der Uferlinie.

Kosten

Tabelle 48: Kosten (Kostengruppen) Bereich D Mitte Variante 2

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten [€]**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXXX
Erdbau	XXXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXXX
Summe netto	XXXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

6.6.3 Variantenvergleich

Die untersuchten Varianten im Uferabschnitt D Mitte unterscheiden sich grundlegend in der Art der Sicherungsweise. So ist in der Variante 1 die Sicherung des Uferabschnittes mittels Verstecktem Damm und in der Variante 2 der Aushub der Kippenmaterialien vorgesehen. Der Hinterlandbereich des Abschnittes D Mitte ist durch zu geringe erdfeuchte Überdeckungen für den stationären hydrologischen Endzustand gekennzeichnet, so dass bei der Variante 1 zusätzlich zur Ufersicherung ein Massenauftrag erforderlich wird.

Die Ein- und Auswirkungen auf Dritte sind bei beiden Varianten annähernd gleich. Sollte dennoch eine erforderliche Detailerkundung zeigen, dass die sich im Uferabschnitt seeseitig anschließenden Kippenverhältnisse anders als angenommen gestalten, würden die Auswirkungen der Variante 1 sich um den Anteil der RDV-Auswirkungen erhöhen.

Die Variante 2 gestaltet sich gegenüber der Variante 1 in der technologischen Umsetzung einfacher, benötigt aber einen höheren logistischen Aufwand beim Umschlag der seeseitig gewonnenen Aushubmassen.

Während bei der Variante 1 die Uferlinie auf der zu sichernden Länge von 90 m weitestgehend erhalten bleibt, ergibt sich bei der Variante 2 eine Verschiebung ins Hinterland.

Die Unterschiede in wesentlichen Leistungspunkten und Kosten zeigt folgende Tabelle:

Tabelle 49: Vergleich einzelner Kostenpositionen Bereich D Mitte Varianten 1 und 2

Leistung	Variante 1		Variante 2	
	Menge	Kosten [€]	Menge	Kosten [€]
Abbruch und Beräumung				
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	0,54 ha	XXXXXXX	0,80 ha	XXXXXXX
Beräumung, Rodung	0,54 ha	XXXXXXX	0,80 ha	XXXXXXX
Schilfmahd und Entsorgung	0,11 ha	XXXXXXX	0,11 ha	XXXXXXX
Abbruch baulicher Anlagen	1	XXXXXXX	1	XXXXXXX
Erdbau				
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	12.000 m³	XXXXXXX	0 m³	XXXXXXX
Seeseitig Massen transportieren und einbauen / übergeben	7.000 m³	XXXXXXX	6.000 m³	XXXXXXX
Bodenmaterial liefern, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	3.000 m³	XXXXXXX	0 m³	XXXXXXX
Landseitige Massen transportieren und einbauen	0 m³	XXXXXXX	23.000 m³	XXXXXXX
Wasserbausteine liefern, Einbau	0 t	XXXXXXX	2.720 t	XXXXXXX
Verdichtungsleistungen				
RDV, seeseitige Ufersicherung	18.000 m³	XXXXXXX	0 m³	XXXXXXX
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 5m	25.500 m³	XXXXXXX	0 m³	XXXXXXX
Rekultivierung				
Summe Rekultivierung	0,4 ha	XXXXXXX	0,2 ha	XXXXXXX
Mediensicherung				
Summe Mediensicherung		XXXXXXX		XXXXXXX
Entschädigungsleistungen				
Summe Entschädigungsleistungen		XXXXXXX		XXXXXXX

Die Gesamtauflistung des Kostenvergleiches für den Bereich D Mitte ist in Anlage 5.5 ersichtlich.

Die Tabelle 49 zeigt die Unterschiede in verschiedenen Kostenpositionen für die zwei betrachteten Varianten auf. Da sich die technologische Umsetzung beider Varianten grundsätzlich unterscheidet, sind bei der Variante 1 höhere Kosten bei den Verdichtungsleistungen und bei der Variante 2 bei den Massenbewegungen (Erdbau) zu verzeichnen.

Bei der Variante 1 ist als unkalkulierbares Risiko das Auftreten von Rutschungen während der Ausführung zu nennen. Die Ausdehnungen würden bei einem Setzungsfließereignis aufgrund der Größe derartiger Abläufe wahrscheinlich den gesamten Bereich D Mitte betreffen. Infolge wäre der Bereich wieder aufzufüllen und erneut zu sichern, was bei den Kostenverhältnissen zu einer Vervielfachung der abgeschätzten Gesamtsumme führen würde. Im Ergebnis dieser Betrachtung muss das Risiko einer Kostenerhöhung bei der Variante 1 gegenüber der Variante 2 als sehr hoch eingeschätzt werden.

Bei Erfordernis einer zusätzlichen RDV bei der Variante 1 fallen zusätzlich Kosten im Punkt Entschädigung für Beweissicherungsmaßnahmen an.

Für die Kostenschätzung der Varianten des Bereiches D Mitte wurde eine Umsetzung der Sicherung im Zuge der Ufersicherung eines anderen Abschnitts berücksichtigt. Bei einer einzelnen Umsetzung würden die anteiligen Kosten für die Baustelleneinrichtung höher und somit unwirtschaftlich sein.

Der Vergleich der Kostenschätzungen zeigt unter Berücksichtigung eines Zuschlages von XXX für beide Varianten (Vorplanungsniveau) eine Summe von XXXXXXXX für die Variante 1 gegenüber der Variante 2 mit XXXXXXXX**.**

Die Auswirkung auf die Belange Dritter gestaltet sich aufgrund der geringen flächigen Ausdehnung des zu sichernden Abschnittes gering. Folglich sind auch die Unterschiede der Auswirkungen auf Dritte zwischen beiden Varianten gering. Die Hauptunterscheidungsmerkmale, von denen sich die Vorzugsvariante ableitet, sind hauptsächlich technischer Natur. In der Zusammenschau der Prüfung des Bereiches D Mitte kann die Variante 2 als eine geeignete Alternativvariante betrachtet werden.

Jedoch ist bei der Variante 2 des Aushubes der Kippenmaterialien, dem eine Verschiebung der Uferlinie resultiert, die Genehmigungsfähigkeit der Ufergestaltung Voraussetzung.

6.7 Alternativenprüfung - Bereich D West

6.7.1 Sicherungsvariante 1 – Versteckter Damm (seeseitig)

Variantenbeschreibung

Für den Uferabschnitt D West wurde noch keine Entwurfs- und Genehmigungsplanung vorgelegt. Jedoch ist die Umsetzung der Entwurfsplanung derzeit in Bearbeitung. Die hier betrachtete Variante 1 der seeseitigen Herstellung des Versteckten Dammes gründet auf den Ergebnissen dieser in Bearbeitung befindlichen Entwurfsplanung.

Für die Sicherung des Uferbereiches mittels seeseitigem Versteckten Damm ist aus statischen Gründen ein 31,0 m breiter einteiliger Versteckter Damm im Uferbereich erforderlich. Dabei ist der Stützkörper bis zum Liegenden zu verdichten. Weiterhin ist über die gesamte Dammbreite hinaus bis zu einem Höhenniveau von +122,2 m NHN eine 5 m tief reichende oberflächennahe Rütteldruckverdichtung (LRV) vorzusehen.

Die Sicherung der Uferböschung durch den Versteckten Damm erfolgt bis zu einer Höhe von +128,0 m NHN. Die Uferböschung wird mittels Profilierung auf den Versteckten Damm bestehend aus RDV und LRV aufgesetzt. Im überwiegenden Teil des Hinterlandes von D West wird das Niveau der mindestens erforderlichen erdfeuchten Überdeckung im stationären Endzustand nicht gewährleistet. Wiederum sind in Teilbereichen dieses Hinterlandes ausgeprägte Tieflagen vorhanden. Das Gründungsnievau der vorhandenen Bebauung liegt insgesamt zu tief. Geeignete Sicherungsmaßnahmen sind für diese Bebauung nicht ableitbar, so dass diese beräumt (Abriss) werden muss.

Für die Sicherung der Geländebruchgefährdung infolge Verflüssigung aufgrund der zu geringen erdfeuchten Überdeckung erfolgt ein Massenauftrag bis zur Mindesthöhe von +128,0 m NHN. An der Begrenzung der erforderlichen Aufhöhung erfolgt eine Anpassung an das bestehende Gelände.

Die maximale Ausdehnung / Rückgriffweiten von möglichen Setzungsfließrutschungen im Abschnitt D West sind durch obere Abraumkante begrenzt.

Beschreibung der technologischen Umsetzung

Vor Beginn der Verdichtungsarbeiten sind die Trasse des Versteckten Dammes sowie der sich landseitig anschließende Uferbereich vom vorhandenen Bewuchs (Schilf, Baumwurzelwerk etc.) zu beräumen. Diese Arbeiten sollen seeseitig unter Verwendung eines auf Ponton installierten Tieflöffelbaggers und dem Abtransport durch Schuten durchgeführt werden. Neben der Beseitigung des Bewuchses ist der Wurzelhorizont (in einer Mächtigkeit von ca. 1 m) abzubaggern.

Die Baggerarbeiten im Vorfeld der RDV dienen neben dem Abtrag der Wurzelschicht vor allem der Schaffung der erforderlichen Bewegungsfreiheit für den Ponton der RDV-Einheit. Dafür ist durch die Vorfeldbaggerung im Trassenbereich (Fahrachse Ponton) eine Seebodenhöhe von +123,5 … +124,0 m NHN zu erstellen.

Das Fällen von den an der Uferböschung stehenden Bäumen bis einschließlich 20 m ins Hinterland erfolgt manuell und landseitig. Dabei ist zu beachten, dass die Bäume nicht in Richtung See umgelegt werden, so dass durch die Bäume keine Verflüssigungen auslösende Initiale in den Untergrund eingetragen werden können. Ebenso erfolgen Baufeldberäumungs- und Holzungsarbeiten im Bereich von erforderlichen Geländeaufhöhungen.

Für die Durchführung der seeseitigen RDV ist das Trägergerät am dafür vorgesehenen Platz zu montieren, anschließend auf dem Ponton zu befestigen bzw. einzusetzen. Das Einsetzen der Technik sowie die Massenverbringung zwischen Land und See erfolgen über die Einsetzstelle im Uferabschnitt E, unmittelbar westlich des Zulaufes „Altes Schwarzwasser“ in Groß Särchen. Der Tiefgang der vollständig ausgerüsteten RDV-Pontoneinheit darf einen Wert von 2,0 m nicht überschreiten. Dies gestattet das Manövrieren der Einheit in der geplanten Fahrachse entlang des RDV-Stützkörpers, dessen durchgehende Befahrbarkeit für die RDV-Pontoneinheit erst durch die erwartete Absenkung des Seebodens in einer Größenordnung von 1,0 m bis 1,5 durch die RDV-Arbeiten ermöglicht wird.

Da davon auszugehen ist, dass die unter Wasser befindlichen Massen den Rüttellöchern zufließen werden, ist die Ausführung der RDV im Rüttelvorgang ohne Materialzugabe geplant. Dieser angenommene Sachverhalt ist jedoch durch einen den Sicherungsarbeiten vorgelagerten RDV-Test zu verifizieren. Gegebenenfalls könnte eine seeseitige Massenzugabe erforderlich werden.

Die RDV soll in einer Sicherheitsfahrweise ausgeführt werden. Dies bedeutet, dass in Abhängigkeit von der Verdichtungsteufe Ruhezeiten zum Abklingen von Porenwasserüberdrücken einzuhalten sind. Zusätzlich werden die RDV-Arbeiten messtechnisch (mittels PWD-Messungen) begleitet.

Mit der Beendigung der RDV-Maßnahme sowie vor Ausführung der oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) wird im Bereich des Stützkörpers eine Auffüllung zum Ausgleich der verdichtungsbedingten Seebodenabsenkung erforderlich. Mit Hilfe der Auffüllung ist die Geometrie der Stützkörperböschung entsprechend des erforderlichen Profils herzustellen.

Sobald die Auffüllung der Fläche des Versteckten Dammes realisiert ist, kann die oberflächennahe Rüttelverdichtung (LRV) ausgeführt werden. Dabei sind die oberflächennahen Bereiche des RDV-Stützkörpers sowie der für die Gewährleistung der Trittsicherheit erforderliche Bereich zu verdichten. Die Verdichtung durch LRV erfolgt bis 5,0 m Tiefe.

Für die Durchführung der oberflächennahen Rütteldruckverdichtung ist nur amphibische Gerätetechnik geeignet, da der Einsatz sowohl an Land als auch im Wasser erfolgen muss.

Nach Abschluss aller Verdichtungsarbeiten zur Herstellung des Versteckten Dammes erfolgt die Feinprofilierung der Dammoberfläche und der sich daran anschließenden Uferböschung. Hierbei wird die Uferböschung um den im Vorfeld abgetragenen Teil auf den fertig gestellten Versteckten Damm wieder aufgetragen und profiliert. Der Massenauftrag erfolgt dabei mittels Erdbautechnik landseitig. Die Feinprofilierung der Uferböschung erfolgt mittels amphibischer Technik von der Seeseite aus. Das sich ans Ufer anschließende Böschungsprofil wird mit einer Böschungsneigung von 1 : 3 hergestellt.

Für die Qualitätssicherung der Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ist ein Geotechnisches Messprogramm zu planen und in der Ausführung umzusetzen.

Die vorstehend ausführlich beschriebenen auszuführenden Arbeiten zur Herstellung des Versteckten Dammes lassen sich in folgende Teilschritte gliedern:

1. Baufeldberäumung (Holzung, Schilfschnitt) im Bereich des Ufers und der Verdichtung
2. Seeseitige Baggerung im Dammbereich zur Schaffung der erforderlichen Fahrtiefe der RDV-Pontoneinheit,
3. Vorsondierungen RDV,
4. RDV ohne Massenzugabe,
5. Nachsondierung RDV,
6. Seeseitiger Massenauftrag zur Auffüllung des Senkungsdefizites der RDV sowie zur Vorbereitung der Böschungskonturierung (Vorprofilierung),
7. Vorsondierung LRV
8. LRV
9. Nachsondierungen LRV
10. Landseitiger Erdbau / Geländeprofilierung,
11. Rekultivierung Bewuchs im Bereich der bearbeiteten Flächen (Bäume, Rasen, Schilf).

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 50: Mengenaufgliederung Bereich D West Variante 1

Leistung	ME	Menge
Abbruch und Beräumung		
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	ha	5,1
Holzung, Beräumung (maschinell) – Erdbaubereiche	ha	18,5
Beräumung, Rodung	ha	23,6
Beräumung Schilf	ha	1,2
Abbruch baulicher Anlagen (ohne umbaute Wohnwagen, Hütten)	Stk.	27,0
Erdbau		
Oberbodenabtrag, Zwischenlagerung, einbauen	m³	47.000
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	m³	80.000
Seeseitig Massen transportieren, einbauen o. übergeben	m³	25.000
Landseitig Massen transportieren und einbauen	m³	8.000
Bodenmaterial liefern, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	m³	292.000
Verdichtungsleistungen		
RDV, seeseitige Ufersicherung Versteckter Damm: Breite 31 bis 33 m, Länge 1.300 m	m³	800.000
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 5m	m³	290.000
Rekultivierung		
Anpflanzung, Ansaat	ha	25,0

Randbedingungen

Zur Ausführung der seeseitigen Arbeiten ist aus geotechnisch-technologischen Gesichtspunkten ein möglichst hoher Wasserstand im Restlochgewässer zu gewährleisten. Aus planerischer Sicht wird von der Bereitstellung eines Wasserspiegels im Niveau von +125,0 m NHN bis +125,5 m NHN ausgegangen.

Der komplette Kippenbereich im Abschnitt D West ist während der Sicherungsarbeiten als bzgl. Verflüssigungen und Setzungsfließrutschungen gefährdetes Gebiet einzustufen.

Der uferparallel verlaufende RDV-Damm ist vor Beginn der im Abschnitt D West erforderlichen hinterlandseitigen Massenauftragsarbeiten fertig zu stellen. Im Bereich der landseitigen Auftragsarbeiten sind Tieflagen vorhanden. Für die Beräumungs- und Auffüllungsarbeiten sollte ein möglichst niedriger Wasserstand / Kippenwasserstand vorhanden sein. Aus planerischer Sicht sind die Arbeiten bei einem Seewasserspiegel von +124,5 m NHN vorzusehen.

Während der Ausführung der Arbeiten ist für die Kippenflächen ein Sperrbereich einzurichten.
Vor Beginn der Arbeiten sind Beweissicherungsmaßnahmen an Bauwerken, bei denen Schäden durch die Erschütterungen infolge der Rüttelarbeiten nicht ausgeschlossen werden können, zu realisieren (Fotodokumentation, Rissdokumentation und -monitoring).

Die im Sperrbereich befindlichen Gebäude dürfen während der Sicherungsarbeiten (dynamische Kippenstabilisierung und Erdbauarbeiten) nicht durch Personen genutzt oder betreten werden. Die Gebäude sind für den Zeitraum der Sicherungsarbeiten freizuziehen.

Für die Zuführung als auch den Abtransport von Technik und Massen zum See ist die vorhandene Einsetzstelle nördlich von Groß Särchen zu nutzen. Sie stellt die einzige Schnittstelle zwischen See und Land dar.

Im Zuge der Tiefenverdichtung ist der Ponton mittels einer für die auftretenden Kräfte geeigneten und ausreichend dimensionierten Vorrichtung im Seeboden zu verankern bzw. abzustützen. Die Verankerung ist konstruktiv so zu gestalten, dass sie im Fall einer Kippenbewegung an Sollbruchstellen versagt, um eine Gefährdung des gesamten RDV-Gerätekomplexes zu unterbinden.

Vor Beginn der Sicherungsarbeiten sind die erforderlichen Mediensicherungsarbeiten umzusetzen.

Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)

Da die Maßnahmen der Gefahrenabwehr im öffentlichen Raum stattfinden, bedingt die Umsetzung der Sicherungsvarianten eine große Auswirkung auf Dritte in Form von:

- Beräumungsarbeiten (Holzung, Rodung, Abriss von Objekten) im Bereich der Verdichtung sowie Flächen des erforderlichen Massenauftrages,
- Einschränkung der Nutzung (Sperrung und Nutzungsausfall, Medien),
- Technologisch bedingte Einwirkungen (wie Erschütterungseinträge durch Rütteldruckverdichtungsarbeiten),
- Beeinträchtigung der Flora und Fauna,
- Gefahr von Setzungsfließrutschungen innerhalb der ungesicherten Kippenflächen im Sperrbereich,
- Lärm- und Staubemissionen im Zusammenhang mit der Bautätigkeit,
- Verkehrseinschränkungen in den Zufahrtsbereichen zur Baustelle und zur Einsetzstelle durch Baustellenverkehr,

- Temporäre Beeinträchtigung der Seewasserqualität (Trübung) durch die seeseitigen Arbeiten.

Die Ausbreitung der Schwingungen der Rütteldruckverdichtungen in die angrenzenden Bereiche kann unter Umständen zu Schäden an baulichen Objekten führen. Im Ergebnis der Betrachtung von Erfahrenswerten der Rütteldruckverdichtung werden folgende Auswirkungen erwartet:

- Schäden an Gebäuden und Objekten, die in einer Entfernung von weniger als 50 m von der Rütteltrasse entfernt sind, werden als wahrscheinlich eingestuft, so lang keine schwingungsreduzierenden Maßnahmen zur Ausführung kommen,
- Schäden an Gebäuden die sich in einer Entfernung von 50 m bis 150 m in Entfernung zur Rütteltrasse befinden, sind nicht auszuschließen, insbesondere bei erschütterungsempfindlichen sowie bau- und gründungstechnisch wenig anspruchsvollen Bauwerken (Medien, Pumpanlagen usw.).

Auf Grundlage dieser Punkte sind für Objekte bis 150 m Entfernung von der Rütteltrasse vor Ausführung Beweissicherungsmaßnahmen (Gebäudesubstanz, Gebäudekonstruktion, bauliche Vorschädigungen usw.) durch Gutachter auszuführen und eine Bewertung des für die Objekte spezifisch zulässigen Schwingungseintrages durchzuführen. Die Auswirkungen der RDV sind mittels einer baubegleitenden Beweissicherung (Setzungs- und Schwingungsmessungen) während der Ausführung zu überwachen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass Objekte, die auf Kippe gegründet sind, durch den Erschütterungseintrag auch nachträglich Setzungen erleiden können.

Tabelle 51: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D West Sicherungsvariante 1

Beräumungsarbeiten	
Holzung	23,6 ha / in 10 Flurstücken
Waldflächen (Rodung)	15,0 ha
Beräumung (massiv)	9 Stk.
Beräumung Bungalow	18 Stk.
Beräumung Wohnwagen umbaut	35 Stk.
RDV – Einwirkung	
Betroffene Flurstücke Abstand bis 50 m	5 Flurstücke
Betroffene Flurstücke Abstand von 50 m bis 150 m	44 Flurstücke
Beweissicherung an Objekten	ca. 49 Stk. (überwiegend Wohnbebauung)
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich (bereichsbezogener Anteil)	6 Jahre
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	Rohrleitungen Verdämmen, Trinkwasserleitung sichern, Schmutzwasserleitung sichern, Rückbau und Wiederherstellung elektr. Anlagen, Gasleitung sichern, Rückbau Telekomeinrichtungen
Objektsicherung (Bungalows)	0 Objekte

Vorteile der Sicherungsvariante

Vorteile einer seeseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes im Bereich D West sind:

- Gerätestandsicherheit wird durch schwimmende Technik gewährleistet, so ist die zusätzliche Schaffung sicherer Startpositionen der Gerätetechnik nicht erforderlich,
- Verdichtung überwiegend im wassergesättigten Kippenkörper, damit ist unter Vorbehalt der Ergebnisse eines RDV-Testfeldes von keiner Materialzugabe während des Rüttelvorganges auszugehen,
- geringere Flächeninanspruchnahme RDV-Damm und damit geringere Rüttelvolumina gegenüber landseitigem Damm,
- Stützkörper liegt überwiegend im Uferböschungsbereich der hydrodynamischen Ausgleichsböschung,
- Massenauftrag im Hinterland für Verbringung von seeseitigen Massenaushub nutzbar.

Nachteile der Sicherungsvariante

Nachteile einer seeseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes im Bereich D West sind:

- hohe logistische Anforderung aufgrund der schwimmenden Technik und Nutzung des Sees als Transportweg,
- ausreichend dimensionierte Einsetzstelle für Geräteeinsetzen und Massenumschlag erforderlich,
- Seewasserspiegel muss während der gesamten Ufersicherung dieses Abschnittes im Niveau von +125,0 m NHN und +125,5 m NHN gehalten werden - Technikeinsatz ist stark von der Lage des Wasserspiegels abhängig,
- im Gegensatz zu den seeseitigen Arbeiten, sollten die landseitigen Maßnahmen bei einem Wasserspiegel von +124,5 m NHN ausgeführt werden, dies erfordert eine mehrmalige Anpassung des Seewasserspiegels oder gesonderte Vorgaben für den Ablauf der Erdbauarbeiten,
- Beeinflussung und Trübung des Seewassers zu erwarten,
- nach Rütteldruckverdichtung und vor seeseitiger oberflächennaher Rüttelverdichtung ist Massenauftrag mit Profilierung erforderlich,
- nur kleines Zeitfenster (nach RDV und vor Massenauftrag für die Nachuntersuchungen des Stützkörpers mittels Drucksondierungen),
- innerhalb des Sicherungsabschnittes ist nur ein RDV - Betriebspunkt für die Verdichtungsarbeiten möglich,
- bei Rutschungsereignissen steht für eine landseitige Zuführung von Verfüllungsmassen oder Antransport von Technik keine verdichtete und gesicherte Trasse zur Verfügung,
- Einsatz flächendeckender Rodung und Geländeaufhöhung / Massenauftrag im Hinterland zur Gewährleistung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung.

Kosten

Für die Variante 1 Bereich D West ergeben sich die in folgender Tabelle aufgeführten Kosten für die entsprechenden Hauptschwerpunkte:

Tabelle 52: Kosten (Kostengruppen) Bereich D West Variante 1

Bezeichnung Kostengruppe	**Kosten [€]**
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXX
Erdbau	XXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXX
Summe netto	XXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

6.7.2 Sicherungsvariante 2 – Versteckter Damm (landseitig)

Variantenbeschreibung (Geländeprofilierung, Standsicherheitsverhältnisse)

Die Variante 2 der betrachteten Sicherungsvarianten im Planungsabschnitt D West stellt die Sicherung der Kippenböschungen durch einen Versteckten Damm mittels landseitiger Herstellung unter Erhaltung der Uferlinie dar.

Für die Sicherung ist aus standsicherheitstechnischen Gründen ein 55,0 m breiter einteiliger Versteckter Damm im Ufer- und Hinterlandbereich zu erstellen. Die Verdichtung des Stützkörperbereiches hat bis zum Liegenden zu erfolgen. Die Erstellung des Versteckten Dammes erfolgt mit einem auf dem Damm fahrenden landseitigen Trägergerät. Für die Errichtung ist das Planum der Verdichtungsarbeiten bis auf die seeseitige Außenkante des Versteckten Dammes zu verbreitern. Nachfolgend der RDV ist die Profilierung der Uferböschung vom Planum des Versteckten Dammes auszuführen.

Im überwiegenden Teil des Hinterlandes von D West wird das Niveau der mindestens erforderlichen erdfeuchten Überdeckung im stationären Endzustand nicht gewährleistet. Wiederum sind in Teilbereichen dieses Hinterlandes ausgeprägte Tieflagen vorhanden. Das Gründungsniveau der vorhandenen Bebauung liegt damit zu tief. Geeignete Sicherungsmaßnahmen sind für diese Bebauung nicht ableitbar, so dass diese beräumt (Abriss) werden muss.

Zur Gewährleistung der Trittsicherheit in den Flachwasserbereichen ist eine oberflächennahe Rüttelverdichtung mit Verdichtungstiefen von 5 m bis zu einem Höhenniveau von +122,2 m NHN erforderlich. In Abschnitten in denen die Unterwasserböschung flacher einfällt als die erforderliche Strandneigung wird zusätzlich ein vorgelagerter Massenabtrag notwendig.

Durch die landseitige erdfeuchte Überdeckung sowie Überhöhung (Massenauftrag) ist für den Dammbereich die oberflächennahe Verdichtung nicht durch LRV sondern durch einen Walzenzug auszuführen.

Für die Baustelleneinrichtungsflächen bieten sich zum einen Flächen an der Einsetzstelle als auch Flächen am nördlichen Ende des Abschnittes zwischen B96 und Kippenbereich an.

Beschreibung - Technologische Umsetzung

Vor Beginn der Verdichtungsarbeiten ist der komplette Bereich der Rütteltrassen von Bewuchs zu räumen. Die vorhandenen Bäume sind zu fällen und zu roden.

Das Fällen von den an der Uferböschung stehenden Bäumen bis einschließlich 20 m ins Hinterland erfolgt manuell und landseitig. Dabei ist zu beachten, dass die Bäume nicht in Richtung See umgelegt werden, so dass dadurch keine Verflüssigungen auslösende Initiale eingetragen werden können. Die sich landseitig anschließenden Holzungsbereiche können unter Beachtung der für den Arbeitszeitraum vorhandenen erdfeuchten Überdeckung zum Teil auch maschinell geholzt und gerodet werden. In der Beräumung und Holzung ist auch die Zuwegung des RDV-Gerätes zwischen Montageplatz und Verdichtungstrasse enthalten.

Der sich seeseitig anschließende Bereich ist auf der Länge der vorgesehenen oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) von Schilf- und Wurzelwerk zu beräumen. Diese Arbeiten sind durch seeseitige Technik wie bei der Variante 1 durchzuführen.

Für die Durchführung der landseitigen RDV ist das Trägergerät am dafür vorgesehenen Platz zu montieren und anschließend zur Startposition zu fahren. Als Startpositionen kommen entweder das östliche oder das nördliche Ende des Uferabschnittes in Betracht. Es bietet sich ein Arbeitsfortschritt von der Einsetzstelle in Richtung Nordwesten an. So können dann alle Massentransporte die über den bereits verdichteten Damm erfolgen, direkt über die Einsetzstelle abgewickelt werden. Hier wäre der Vorteil zu nennen, dass dann über die Dammtrasse direkt an der Einsetzstelle umgeschlagener seeseitiger Massenaushub für den Einbau im Hinterland von D West verbracht werden kann.

Unter Beachtung der entsprechenden Vorlandbreite befindet sich das landseitige Trägergerät ständig auf bereits verdichtetem und gesichertem Untergrund. Während der RDV erfolgt eine Massenzugabe, so dass mittels Radlader den Rüttelbereichen im Vorkopfverfahren (Teleskopradlader) Material zugeführt wird. Dieser Vorgang dient gleichzeitig zur Schaffung und Profilierung des Planums des Versteckten Dammes. Bei dieser Vorgehensweise wird entsprechend der erforderlichen Breite des Versteckten Dammes im Vorkopfverfahren das Planum in Richtung See erweitert. Alle Massentransporte erfolgen über den bereits verdichteten Damm.

Um Rutschungen vorzubeugen erfolgt die Ausführung der Rüttelarbeiten in Sicherheitsfahrweise, dies bedeutet, dass in Abhängigkeit von der Verdichtungsteufe Ruhezeiten zum Abklingen von Porenwasserüberdrücken einzuhalten sind. Zusätzlich werden die RDV-Arbeiten messtechnisch (mittels PWD-Messungen) begleitet.

Bei den Arbeiten der Rütteldruckverdichtung werden Erschütterungen und Schwingungen in den Untergrund eingetragen. Objekte, die sich in einem Umkreis von 150 m um die Erregerquelle befinden, sind in die Beweissicherungsmaßnahmen einzubeziehen.

Nach Beendigung der landseitigen RDV ist vom Planum aus das Uferprofil im Bereich der unmittelbaren Uferböschung (1:3) zu erstellen. Anschließend erfolgt eine Profilierung des seeseitigen Strandbereiches mit amphibischer Technik. Im Nachgang ist analog der Variante 1 die leichte Rüttelverdichtung (LRV) auszuführen. Nach Abschluss der Arbeiten ist der Strandbereich im Rahmen einer Feinprofilierung nachzugestalten. Für die Baustellenlogistik der Arbeiten mit seeseitiger und amphibischer Technik ist die Einsetzstelle zu nutzen.

Nach Beendigung der Tiefenverdichtungsarbeiten ist das Planum des Versteckten Dammes auch landseitig oberflächennah mittels Walzenzug nachzuverdichten.

Wie bereits ausführlich dargelegt, befinden sich im Uferabschnitt D West im Hinterland ausgeprägte Tieflagen, die aufgefüllt werden müssen. Die Auffüllungsmaßnahmen können wiederum nur bei einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung ausgeführt werden. Für diese Maßnahmen sollte der Seewasserspiegel möglichst +124,5 m NHN nicht überschreiten.

Sind alle Verdichtungs- und Erdbauarbeiten abgeschlossen, erfolgen im Nachgang die Rekultivierungsarbeiten.

Für die Qualitätssicherung der Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ist ein Geotechnisches Messprogramm zu planen und in der Ausführung umzusetzen.

Die vorstehend ausführlich beschriebenen auszuführenden Arbeiten zur Herstellung des Versteckten Dammes lassen sich in folgende Teilschritte gliedern:

1. Baufeldberäumung (Holzung, Schilfschnitt) im Bereich des Ufers und der Verdichtung
2. Vorsondierungen RDV,
3. Herstellung Arbeitsplanum für RDV – Gerät,
4. RDV mit Massenzugabe,
5. Nachsondierung RDV,
6. Profilierung der Uferböschung,
7. Nachverdichtung des landseitigen Versteckten Dammes mittels Walzenzug,
8. Vorsondierung LRV
9. Ausführung der seeseitigen oberflächennahen Rüttelverdichtung (LRV) und seeseitiger Massenabtrag,
10. Nachsondierungen LRV,
11. Rekultivierung Bewuchs im Bereich der bearbeiteten Flächen (Bäume, Rasen, Schilf).

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 53: Mengenaufgliederung Bereich D West Variante 2

Leistung	ME	Menge
Abbruch und Beräumung		
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	ha	2,6
Holzung, Beräumung (maschinell) – Erdbaubereiche	ha	20,9
Beräumung, Rodung	ha	23,6
Beräumung Schilf	ha	1,16
Abbruch baulicher Anlagen (ohne umbaute Wohnwagen, Hütten)	Stk.	27,0
Erdbau		
Oberbodenabtrag, Zwischenlagerung, einbauen	m³	47.000
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	m³	50.000
Seeseitig Massen transportieren, einbauen o. übergeben	m³	8.000
Landseitig Massen transportieren und einbauen	m³	28.000
Bodenmaterial liefern, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	m³	369.000
Verdichtungsleistungen		
RDV, landseitige Ufersicherung Versteckter Damm: Breite 55, Länge 1.300 m	m³	1.360.000
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 5m	m³	200.000
Oberflächennahe landseitige Verdichtung (Walzenzug)	m³	52.000
Rekultivierung		
Anpflanzung, Ansaat	ha	25,0

Randbedingungen der Sicherungsarbeiten

Zur Ausführung der seeseitigen Arbeiten (Vorfeldsicherung) ist aus geotechnisch-technologischen Gesichtspunkten ein möglichst hoher Wasserstand im Restlochgewässer zu gewährleisten.

Der komplette Kippenbereich im Abschnitt D West ist während der Sicherungsarbeiten als bzgl. Verflüssigungen und Setzungsfließrutschungen gefährdetes Gebiet einzustufen.

Der uferparallel verlaufende RDV-Damm ist vor Beginn der im Abschnitt D West erforderlichen hinterlandseitigen Massenauftragsarbeiten fertig zu stellen. Im Bereich der landseitigen Auftragsarbeiten sind Tieflagen vorhanden. Für die Beräumungs- und Auffüllungsarbeiten sollte ein möglichst niedriger Wasserstand / Kippenwasserstand vorhanden sein. Aus planerischer Sicht sind die Arbeiten bei einem Seewasserspiegel von +124,5 m NHN auszuführen.

Während der Ausführung der Arbeiten ist für die Kippenflächen ein Sperrbereich einzurichten.

Vor Beginn der Arbeiten sind Beweissicherungsmaßnahmen an Bauwerken, bei denen Schäden durch die Erschütterungen infolge der Rüttelarbeiten nicht ausgeschlossen werden können, zu realisieren (Fotodokumentation, Rissdokumentation und -monitoring).

Die im Sperrbereich befindlichen Gebäude dürfen während der Sicherungsarbeiten (dynamische Kippenstabilisierung und Erdbauarbeiten) nicht durch Personen genutzt oder betreten werden. Die Gebäude sind für den Zeitraum der Sicherungsarbeiten freizuziehen.

Für die Zuführung als auch den Abtransport von Technik und Massen zum See ist die vorhandene Einsetzstelle nördlich von Groß Särchen zu nutzen. Sie stellt die einzige Schnittstelle zwischen See und Land dar.

Im Zuge der Tiefenverdichtung ist der Ponton mittels einer für die auftretenden Kräfte geeigneten und ausreichend dimensionierten Vorrichtung im Seeboden zu verankern bzw. abzustützen. Die Verankerung ist konstruktiv so zu gestalten, dass sie im Fall einer Kippenbewegung an Sollbruchstellen versagt, um eine Gefährdung des gesamten RDV-Gerätekomplexes zu unterbinden.

Vor Beginn der Sicherungsarbeiten sind die erforderlichen Mediensicherungsarbeiten umzusetzen.

Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)

Da die Maßnahmen der Gefahrenabwehr im öffentlichen Raum stattfinden, bedingt die Umsetzung der Sicherungsvarianten eine große Auswirkung auf Dritte in Form von:

- Beräumungsarbeiten (Holzung, Rodung, Abriss von Objekten) im Bereich der Verdichtung sowie Flächen des erforderlichen Massenauftrages,
- Einschränkung der Nutzung (Sperrung und Nutzungsausfall, Medien),
- Technologisch bedingte Einwirkungen (wie Erschütterungseinträge durch Rütteldruckverdichtungsarbeiten),
- Beeinträchtigung der Flora und Fauna,
- Gefahr von Setzungsfließrutschungen innerhalb der ungesicherten Kippenflächen im Sperrbereich,
- Lärm- und Staubemissionen im Zusammenhang mit der Bautätigkeit,
- Verkehrseinschränkungen in den Zufahrtsbereichen zur Baustelle und zur Einsetzstelle durch Baustellenverkehr.

Analog der Sicherungsvariante 1 sind vor Ausführung Beweissicherungsmaßnahmen an gefährdeten Objekten (Gebäudesubstanz, Gebäudekonstruktion, bauliche Vorschädigungen usw.) durch Gutachter auszuführen und eine Bewertung des für die Objekte spezifisch zulässigen Schwingungseintrages durchzuführen. Die Auswirkungen der RDV sind während der Ausführung mittels einer baubegleitenden Beweissicherung (Setzungs- und Schwingungsmessungen) zu überwachen.

Die Auswirkungen der Umsetzung der Sicherungsvariante 2 auf Dritte sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 54: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D West Sicherungsvariante 2

Beräumungsarbeiten	
Holzung	23,6 ha / in 10 Flurstücken
Waldflächen (Rodung)	15,0 ha
Beräumung (massiv)	9 Stk.
Beräumung Bungalow	18 Stk.
Beräumung Wohnwagen umbaut	35 Stk.
RDV – Einwirkung	
Betroffene Flurstücke Abstand bis 50 m	5 Flurstücke
Betroffene Flurstücke Abstand von 50 m bis 150 m	54 Flurstücke
Beweissicherung an Objekten	ca. 54 Stk. (überwiegend Wohnbebauung)
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich (bereichsbezogener Anteil)	6 Jahre
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	Rohrleitungen Verdämmen, Trinkwasserleitung sichern, Schmutzwasserleitung sichern, Rückbau und Wiederherstellung elektr. Anlagen, Gasleitung sichern, Rückbau Telekomeinrichtungen
Objektsicherung (Bungalows)	0 Objekte

Vorteile der Sicherungsvariante

Vorteile einer landseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes im Bereich D West sind:

- die landseitige Herstellung des Versteckten Dammes ist eine vielfach bewährte Technologie mit geringeren technologischen bzw. logistischen Risiken gegenüber einer seeseitigen Herstellung,
- geringe Beeinflussung der Seewasserqualität während der RDV,
- mit Herstellung einer zweiten Startposition besteht die Möglichkeit an mindestens zwei Betriebspunkten die Verdichtungsarbeiten auszuführen, so dass in Havariefällen (Rutschungen etc.) eine Ausweichmöglichkeit für die Fortführung der Arbeiten besteht,
- Massenzuführung und -logistik erfolgt landseitig, somit ergibt sich auch eine Entlastung der Einsetzstelle,
- ermöglicht die parallele Bearbeitung von Uferbereichen (bei gleichzeitigen seeseitigen Einsatz seeseitiger Technik in einem anderen Uferabschnitt),
- weitgehende Zeitunabhängigkeit für Qualitätsprüfungen der Verdichtungsleistungen,
- für landseitige Nachprüfungen keine Erfordernis von zusätzlicher Technik,
- Schaffung von bebauungsfähigem Untergrund auf einer Breite von 55 m.

Nachteile der Sicherungsvariante

Nachteile einer landseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes im Bereich D West sind:

- Massenzugabe zum Erzielen einer ausreichenden Verdichtung und zum Erhalt des Planumsniveaus notwendig,
- größere erforderliche Dammbreite als bei der seeseitigen Herstellung,

Kosten

Tabelle 55: Kosten (Kostengruppen) Bereich D West Variante 2

Bezeichnung Kostengruppe	Kosten [€]
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXX
Erdbau	XXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXX
Summe netto	XXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

6.7.3 Sicherungsvariante 3 – Versteckter Damm (landseitig)

Variantenbeschreibung (Geländeprofilierung, Standsicherheitsverhältnisse)

Die Variante 3 der untersuchten Alternativvarianten im Kippenabschnitt D West stellt wie die Variante 2 ebenfalls die Sicherung mittels Versteckten Damm durch landseitige Herstellung dar. Gegenüber der Variante 2 erfolgt die Profilierung des Ufers im Bereich des erstellten Dammes. Das Vorfeld wird auf eine Höhe von +122,2 m NHN zur Gewährleistung der Wassertiefe abgetragen. Die Vorfeldsicherung zur Gewährleistung der Trittsicherung mittels LRV ist somit bei dieser Variante nicht mehr erforderlich.

Durch die landseitige Profilierung des Strandbereiches wird bei der Variante 3 die Uferlinie in Richtung Hinterland verschoben.

Die Schaffung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Auftrag von Erdstoff erfolgt bei der Variante 3 wie auch bei den beiden anderen untersuchten Varianten. Durch die landseitige Ausführung der Profilierung können die Aushubmassen direkt in Aufhöhungsbereiche umgesetzt werden, die an den Versteckten Damm angrenzen.

Beschreibung - Technologische Umsetzung

Vor Beginn der Verdichtungsarbeiten ist der komplette Bereich der Rütteltrassen von Bewuchs zu räumen. Die vorhandenen Bäume sind zu fällen und zu roden. Die Vorgaben für Holzung und Beräumung für Trassen- und Hinterlandbereich gelten analog der Varianten 1 und 2. Die Beräumung der seeseitigen Uferbereiche erfolgen wie bei Variante 1 und 2 mittels seeseitiger Technik.

Bei den Arbeiten der Rütteldruckverdichtung werden Erschütterungen und Schwingungen in den Untergrund eingetragen. Objekte, die sich in einem Umkreis von 150 m um die Erregerquelle befinden, sind in die Beweissicherungsmaßnahmen einzubeziehen.

Die Ausführung der landseitigen RDV erfolgt wie bei Variante 2. Die Durchführung der RDV-Arbeiten erfolgt in Sicherheitsfahrweise.

Nach Fertigstellung der Verdichtungsarbeiten erfolgt von der Landseite aus der Massenabtrag des RDV – Planums und Profilierung des Strand- und Uferbereiches mittels Langarmbagger. Je nach Gestaltung des Massenauftrages im Hinterland können die Massen direkt umgesetzt und im Hinterland eingebaut werden. Seeseitige Profilierungsbereiche, die technologisch bedingt nicht durch den Langarmbagger von der Landseite her bearbeitet werden können, sind zusätzlich durch seeseitige Technik (z. B. Amphibienbagger) abzutragen.

Wie bereits ausführlich dargelegt, befinden sich im Uferabschnitt D West im Hinterland ausgeprägte Tieflagen, die aufgefüllt werden müssen. Die Auffüllungsmaßnahmen können wiederum nur bei einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung ausgeführt werden. Für diese Maßnahmen sollte der Seewasserspiegel möglichst +124,5 m NHN nicht überschreiten.

Sind alle Verdichtungs- und Erdbauarbeiten abgeschlossen, erfolgen im Nachgang die Rekultivierungsarbeiten.

Die vorstehend beschriebenen auszuführenden Arbeiten zur Herstellung des Versteckten Dammes lassen sich für die Variante 3 in folgende Teilschritte gliedern:

1. Baufeldberäumung (Holzung, Schilfschnitt) im Bereich des Ufers und der Verdichtung
2. Vorsondierungen RDV,
3. Herstellung Arbeitsplanum für RDV-Gerät,
4. RDV mit Massenzugabe,
5. Nachsondierungen RDV,
6. Profilierung der Uferböschung,
7. Nachverdichtung des landseitigen Versteckten Dammes mittels Walzenzug,
8. Landseitiger Erdbau / Geländeprofilierung,
9. Rekultivierung Bewuchs im Bereich der bearbeiteten Flächen (Bäume, Rasen, Schilf).

Leistungen (Mengengerüst)

Tabelle 56: Mengenaufgliederung Bereich D West Variante 3

Leistung	ME	Menge
Abbruch und Beräumung		
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	ha	2,6
Holzung, Beräumung (maschinell) – Erdbaubereiche	ha	20,9
Beräumung, Rodung	ha	23,6
Beräumung Schilf	ha	1,16
Abbruch baulicher Anlagen (ohne umbaute Wohnwagen, Hütten)	Stk.	27,0
Erdbau		
Oberbodenabtrag, Zwischenlagerung, einbauen	m³	47.000
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	m³	0
Seeseitig Massen transportieren, einbauen o. übergeben	m³	42.000
Landseitig Massen transportieren und einbauen	m³	240.000
Bodenmaterial liefern, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	m³	123.000
Verdichtungsleistungen		
RDV, landseitige Ufersicherung Versteckter Damm: Breite 55 – 60 m, Länge 1.300 m	m³	1.550.000
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 5m	m³	0
Oberflächennahe landseitige Verdichtung (Walzenzug)	m³	13.000
Rekultivierung		
Anpflanzung, Ansaat	ha	23,0

Randbedingungen der Sicherungsarbeiten

Der komplette Kippenbereich im Abschnitt D West ist während der Sicherungsarbeiten als bezüglich Verflüssigungen und Setzungsfließrutschungen gefährdetes Gebiet einzustufen.

Der uferparallel verlaufende RDV-Damm ist vor Beginn der im Abschnitt D West erforderlichen hinterlandseitigen Massenauftragsarbeiten fertig zu stellen. Im Bereich der landseitigen Auftragsarbeiten sind Tieflagen vorhanden. Für die Beräumungs- und Auffüllungsarbeiten sollte ein möglichst niedriger Wasserstand/Kippenwasserstand vorhanden sein. Aus planerischer Sicht sind die Arbeiten bei einem Seewasserspiegel von +124,5 m NHN auszuführen.

Während der Ausführung der Arbeiten ist für die Kippenflächen ein Sperrbereich einzurichten.
Vor Beginn der Arbeiten sind Beweissicherungsmaßnahmen an Bauwerken, bei denen Schäden durch die Erschütterungen infolge der Rüttelarbeiten nicht ausgeschlossen werden können, zu realisieren (Fotodokumentation, Rissdokumentation und -monitoring).

Die im Sperrbereich befindlichen Gebäude dürfen während der Sicherungsarbeiten (dynamische Kippenstabilisierung und Erdbauarbeiten) nicht durch Personen genutzt oder betreten werden. Die Gebäude sind für den Zeitraum der Sicherungsarbeiten freizuziehen.

Für die Zuführung als auch den Abtransport von Technik und Massen zum See ist die vorhandene Einsetzstelle nördlich von Groß Särchen zu nutzen. Sie stellt die einzige Schnittstelle zwischen See und Land dar.

Beeinflussung Dritter (Auswirkungen, Betroffenheiten)

Da die Maßnahmen der Gefahrenabwehr im öffentlichen Raum stattfinden, bedingt die Umsetzung der Sicherungsvarianten eine große Auswirkung auf Dritte in Form von:

- Beräumungsarbeiten (Holzung, Rodung, Abriss von Objekten) im Bereich der Verdichtung sowie Flächen des erforderlichen Massenauftrages,
- Einschränkung der Nutzung (Sperrung und Nutzungsausfall, Medien),
- Technologisch bedingte Einwirkungen (wie Erschütterungseinträge durch Rütteldruckverdichtungsarbeiten),
- Beeinträchtigung der Flora und Fauna,
- Gefahr von Setzungsfließrutschungen innerhalb der ungesicherten Kippenflächen im Sperrbereich,
- Lärm- und Staubemissionen im Zusammenhang mit der Bautätigkeit,
- Verkehrseinschränkungen in den Zufahrtsbereichen zur Baustelle und zur Einsetzstelle durch Baustellenverkehr.

Analog den Sicherungsvarianten 1 und 2 sind vor Ausführung Beweissicherungsmaßnahmen an gefährdeten Objekten (Gebäudesubstanz, Gebäudekonstruktion, bauliche Vorschädigungen usw.) durch Gutachter auszuführen und eine Bewertung des für die Objekte spezifisch zulässigen Schwingungseintrages durchzuführen. Die Auswirkungen der RDV sind während der Ausführung mittels einer baubegleitenden Beweissicherung (Setzungs- und Schwingungsmessungen) zu überwachen.

Die Auswirkungen der Umsetzung der Sicherungsvariante 3 auf Dritte sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 57: Übersicht Beeinflussung Dritter Bereich D West Sicherungsvariante 3

Beräumungsarbeiten	
Holzung	23,6 ha / in 10 Flurstücken
Waldflächen (Rodung)	15,0 ha
Beräumung (massiv)	9 Stk.
Beräumung Bungalow	18 Stk.
Beräumung Wohnwagen umbaut	35 Stk.
RDV – Einwirkung	
Betroffene Flurstücke Abstand bis 50 m	5 Flurstücke
Betroffene Flurstücke Abstand von 50 m bis 150 m	58 Flurstücke
Beweissicherung an Objekten	ca. 58 Stk. (überwiegend Wohnbebauung)
Zeitabhängige Beeinträchtigungen	
Einrichtung Sperrbereich (bereichsbezogener Anteil)	4,5 Jahre
Sicherung Medien, Objekte	
Mediensicherung	Rohrleitungen Verdämmen, Trinkwasserleitung sichern, , Schmutzwasserleitung sichern, Rückbau und Wiederherstellung elektr. Anlagen, Gasleitung sichern, Rückbau Telekomeinrichtungen
Objektsicherung (Bungalows)	0 Objekte

<u>Vorteile der Sicherungsvariante</u>

Vorteile einer landseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes mit landseitiger Profilierung im Bereich D West sind:

- die landseitige Herstellung des Versteckten Dammes ist eine vielfach bewährte Technologie mit geringeren technologischen bzw. logistischen Risiken gegenüber einer seeseitigen Herstellung,
- geringe Beeinflussung der Seewasserqualität während der RDV,
- mit Herstellung einer zweiten Startposition besteht die Möglichkeit an mindestens zwei Betriebspunkten die Verdichtungsarbeiten auszuführen, so dass in Havariefällen (Rutschungen etc.) eine Ausweichmöglichkeit für die Fortführung der Arbeiten besteht,
- Massenzuführung und -logistik erfolgt landseitig, somit ergibt sich auch eine Entlastung der Einsetzstelle,
- ermöglicht die parallele Bearbeitung von Uferbereichen (bei gleichzeitigen seeseitigen Einsatz seeseitiger Technik in einem anderen Uferabschnitt),
- weitgehende Zeitunabhängigkeit für Qualitätsprüfungen der Verdichtungsleistungen,
- für landseitige Nachprüfungen keine Erfordernis von zusätzlicher Technik,
- Verringerung Fremdmassenbedarf durch Profilierungsmassen (landseitig und seeseitig),
- Verschiebung Uferlinie durch landseitige Verlegung der Profilierung vermindert Massenbedarf im Hinterland.

Nachteile der Sicherungsvariante

Nachteile einer landseitigen Umsetzung des Versteckten Dammes im Bereich D West sind:

- Massenzugabe zum Erzielen einer ausreichenden Verdichtung und zum Erhalt des Planumsniveaus notwendig,
- größere erforderliche Dammbreite als bei der seeseitigen Herstellung,
- Verschiebung der Uferlinie.

Kosten

Tabelle 58: Kosten (Kostengruppen) Bereich D West Variante 3

Bezeichnung Kostengruppe	Kosten [€]
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung, Schilfschnitt etc.)	XXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen	XXXXXXX
Erdbau	XXXXXXX
Verdichtungsleistungen	XXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXX
Summe netto	XXXXXXX

* Zuschlag für Vergleichbarkeit der Kostenschätzung (Erläuterung siehe Kapitel 6.1.6)

6.7.4 Variantenvergleich

Alle drei untersuchten Varianten der Sicherung des Uferabschnittes D West setzen die erforderliche Ufersicherung mittels Errichtung eines Versteckten Dammes um. Die Erstellung des Dammes erfolgt für alle Varianten mittels Rütteldruckverdichtung. Die Sicherung der Tieflagen im Hinterland erfolgt mittels Massenauftrag zur Gewährleistung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung.

Die Variante 1 setzt die Erstellung des Dammes von der Seeseite um, während die Varianten 2 und 3 die Erstellung von der Landseite aus betrachten. Die landseitige Herstellung des Versteckten Dammes kann zum einen unter Erhalt der Uferlinie mit einer Vorfeldsicherung oder zum anderen durch eine landseitige Profilierung realisiert werden, mit der eine Verschiebung der Uferlinie einhergeht, erfolgen.

Durch die ausgeprägte Tieflage des Hinterlandes im Bereich D West ist bei allen Varianten der komplette Kippenbereich zu beräumen. So sind auf einer Fläche von ca. 23 ha Holzungen und Rodungen sowie der Abriss aller Baulichkeiten durchzuführen. Im Ergebnis dieser Betrachtung haben für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die Auswirkungen auf Dritte wie Mediensicherung, Auswirkung Ökologie oder Entschädigungsleistungen nur eine untergeordnete Bedeutung. Einen Einfluss auf die Kosten von Entschädigungsleistungen haben die Beweissicherungskosten, da diese von der RDV – Auswirkung und somit Lage des Versteckten Dammes abhängig sind. Diese erhöhen sich beispielsweise von Variante 2 zu Variante 3 um ca. XXXXXXXX. Dies ist jedoch unter Beachtung der möglichen technologisch bedingten Risiken als untergeordnet anzusehen.

Bei der Variante 2 besteht der Vorteil, dass auf der Breite des Versteckten Dammes nach Umsetzung für die Nachnutzung bebauungsfähiger Untergrund zur Verfügung steht.

Die Unterschiede in wesentlichen Leistungspunkten und Kosten zeigt folgende Tabelle:

Tabelle 59: Vergleich einzelner Kostenpositionen Bereich D West Varianten 1, 2 und 3

Leistung	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
	Menge	**Kosten [€]**	**Menge**	**Kosten [€]**	**Menge**	**Kosten [€]**
Abbruch und Beräumung						
Holzung, Beräumung Uferbereich (manuell)	5,1 ha	XXXXXXX	2,6 ha	XXXXXXX	2,6 ha	XXXXXXX
Holzung, Beräumung (maschinell) – Erdbaubereiche	18,5 ha	XXXXXXX	20,9 ha	XXXXXXX	20,9 ha	XXXXXXX
Beräumung, Rodung	23,6 ha	XXXXXXX	23,6 ha	XXXXXXX	23,6 ha	XXXXXXX
Schilfmahd u. Ents.	1,16 ha	XXXXXXX	1,16 ha	XXXXXXX	1,16 ha	XXXXXXX
Abbruch baulicher Anlagen	1	XXXXXXX	1	XXXXXXX	1	XXXXXXX
Erdbau						
Bodenmaterial liefern, seeseitiger Einbau	80.000 m³	XXXXXXX	50.000 m³	XXXXXXX	0 m³	XXXXXXX
Seeseitig Massen transportieren und einbauen	25.000 m³	XXXXXXX	8.000 m³	XXXXXXX	42.000 m³	XXXXXXX
Bodenmaterial liefern, Fremdmaterial, landseitiger Einbau	292.000 m³	XXXXXXX	369.000 m³	XXXXXXX	123.000 m³	XXXXXXX
Landseitige Massen transportieren und einbauen	8.000 m³	XXXXXXX	28.000 m³	XXXXXXX	240.000 m³	XXXXXXX
Verdichtungsleistungen						
RDV, landseitige Ufersicherung	0 m³	XXXXXXX	1.360.00 m³	XXXXXXX	1.550.000 m³	XXXXXXX
RDV, seeseitige Ufersicherung	800.000 m³	XXXXXXX	0 m³	XXXXXXX	0 m³	XXXXXXX
Oberflächennahe Rüttelverdichtung LRV, Tiefe 5m	290.000 m³	XXXXXXX	200.000 m³	XXXXXXX	0 m³	XXXXXXX
Oberflächennahe landseitige Verdichtung (Walzenzug)	0 m³	XXXXXXX	52.000 m³	XXXXXXX	13.000 m³	XXXXXXX
Rekultivierung						
Summe Rekultivierung	25,0 ha	XXXXXXX	25,0 ha	XXXXXXX	23,0 ha	XXXXXXX
Mediensicherung						
Summe Mediensicherung		XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX
Entschädigungsleistungen						
Summe Entschädigungsleistungen		XXXXXXX		XXXXXXX		XXXXXXX

Die Gesamtauflistung des Kostenvergleiches für den Bereich D West ist in Anlage 5 ersichtlich.

Wesentliche Unterschiede bestehen in den drei untersuchten Varianten vor allem in den Verdichtungs- und Erdbauleistungen. Die möglichen technologischen Risiken nehmen dabei mit zunehmendem Anteil von landseitiger Erdbautechnik ab. Die Variante 3 kann folglich als die Variante aller drei untersuchten technologischen Möglichkeiten angesehen werden, die das geringste Risiko bezüglich technologischen Unwägbarkeiten oder Abhängigkeiten besitzt.

In der Kostenschätzung ergeben sich für die betrachteten Varianten folgende Summen:

- **Variante 1** – seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes (mittels RDV und LRV) XXXXXXXXXX
- **Variante 2** – landseitige Herstellung des Versteckten Dammes (mittels RDV und Vorfeldsicherung - LRV) XXXXXXXXXX
- **Variante 3** – landseitige Herstellung des Versteckten Dammes (mittels RDV und landseitiger Profilierung) XXXXXXXXXX

In der Zusammenschau kann abgeleitet werden, dass die Variante 3 – landseitige Herstellung des Versteckten Dammes als eine geeignete Alternative zur ursprünglichen Vorzugsvariante (Variante 1) unter Voraussetzung der Genehmigungsfähigkeit angesehen werden kann.

6.8 Sicherungsvarianten - Bereich F

6.8.1 Planungsstand – Sicherung Bereich F

Allgemeines

Gemäß Aufgabenstellung der Prüfung der Geeignetheit der Sicherungsvarianten [5] sind alle Uferabschnitte des Knappensees einer Prüfung der Geeignetheit der geplanten Sicherungsvarianten zu unterziehen.

Der Bereich ist kein Kippenabschnitt im Uferbereich, befindet sich jedoch direkt im Anschluss an den Bereich G und sollte der Vollständigkeit wegen mit aufgeführt werden. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wird im Folgenden der aktuelle Planungsstand (Vorplanung) aufgezeigt.

Örtlichkeit und Geotechnische Verhältnisse

Der Planungsabschnitt F befindet sich östlich des Bereiches G bzw. im Hinterland des Südteiles des Bereiches G. Der im Abschnitt D Ost vorhandene Koblenzer Graben als Zulauf zum Knappensee befindet sich ca. 50 m südlich des Abschnittes F.

Im Norden grenzen an den Bereich F die Flächen des verfüllten Restloches 0815/1 sowie das aufgefüllte Gelände einer ehemaligen Hotelanlage an.

Im Untersuchungsgebiet stehen oberflächlich locker gelagerte Sande der Pflugkippe an. Diese werden ab einer Tiefe von ca. 7 m von Sanden der AFB-Kippe unterlagert. Die untersuchten Kippenmaterialien liegen bezüglich ihrer Kornverteilung fast vollständig im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum.

Im Bereich der Bebauungsobjekte sind ebene Flächen mit schwankenden Geländehöhen vorhanden. So besitzt die Bebauung, die sich am weitesten westlich befindet, Höhen der GOK von +128,9 m NHN bis +129,5 m NHN. Die sich im nördlichen Hinterland anschließende Bebauung der Hotelanlage Flurstück 15/7 weist im umliegenden Gelände Höhen von +127,3 m NHN bis +127,9 m NHN und damit Grundwasserflurabstände im Endzustand unter Berücksichtigung einer zeitweisen, meteorologisch bedingten Aufhöhung von +0,5m, von kleiner 2,0 m auf. Die sich an die Hotelanlage südlich anschließende Bebauung (u. a. Gewerbeeinrichtung, Wohnhaus und Ferienhaus, Flurstücke 15/17, 15/18 und 15/20) besitzt Geländehöhen von +128,0 m NHN bis +128,4 m NHN.

Gefährdungsbeurteilung

Die im Bearbeitungsgebiet vorhandenen Kippenmaterialien liegen bezüglich ihrer Kornverteilung fast vollständig im verflüssigungsgefährdeten Kornspektrum. Die Kornform wurde mit gerundet bis gut gerundet bestimmt. Die Kippenmaterialien sind überwiegend bis zum Liegenden locker bis sehr locker gelagert. Der Kippengrundwasserspiegel befindet sich im stationären Endzustand zwischen +125,5 m NHN bis +126,0 m NHN. In Teilbereichen existieren im Bereich F Geländehöhen von kleiner +128,0 m NHN. In Bereichen mit lokalen Tieflagen sind Geländehöhen von +126,9 m NHN vorhanden. Die Grundwasserflurabstände (zur GOK) betragen somit unter Beachtung von meteorologischen Ereignissen 0,9 m im Minimum.

In den ungesicherten Bereichen besteht somit die Gefahr von verflüssigungsbedingten Verformungen und Brucherscheinungen. Aufgrund des schnellen Ablaufs solcher Vorgänge sind Rettungs- und Abwehrmaßnahmen kaum möglich. Mit Ausführung der Gefahrenabwehrmaßnahmen im Abschnitt G Süd wird die Gefahr von Setzungsfließrutschungen als Folge von verflüssigungsbedingten Verformungen mit Rückgriff nach F beseitigt.

Im Abschnitt F besteht nach Sicherung der vorgelagerten Uferabschnitte die Gefährdung bezüglich der Tagesoberfläche durch lokale Verflüssigungsbereiche mit entsprechenden Deformationen (wie beispielsweise Sackungsfließen oder Geländeeinbruch infolge Verflüssigung). Entsprechend liegt eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit und der vorhandenen Sachwerte vor.

Initialeinträge können durch Verkehrslasten wie beispielsweise durch PKW, LKW, Baufahrzeuge, Umbauarbeiten an den vorhandenen Gebäuden erfolgen.

Im Rahmen der Planung von Gefahrenabwehrmaßnahmen am Knappensee sind entsprechende Sicherungsmaßnahmen gegenüber Gefährdungen im Bereich F abzuleiten.

Die Gründungen der im Bereich F vorhandenen Gebäude sind grundwassernah. Dabei sind die Gebäude der Bebauung Flurstück 15/7 (Hotelanlage) von besonders geringen (< 2m) erdfeuchten Überdeckungen gekennzeichnet.

Die vorhandenen Kippenmaterialien sowie der geringe Grundwasserflurabstand führen in dem flachen Gelände des Bereiches F vor allem zu einer hohen Gefährdung bezüglich Geländeeinbruches infolge Verflüssigung. Setzungsfließvorgänge sind nach Ausführung der geplanten Sicherung der Uferbereiche in G und D Ost nicht mehr zur erwarten.

Sicherungsvariante – Grundbruchsicherheit

Wie bereits beschrieben wird die erforderliche erdfeuchte Mindestüberdeckung für den hydrogeologischen Endzustand im vorhandenen Gelände nicht eingehalten. Entsprechend ist das Hinterland im Abschnitt F im Bereich der zu geringen Grundwasserflurabstände flächenhaft zu sichern.

Für diese Sicherungsnotwendigkeit kann nur eine Geländeaufhöhung mittels Massenauftrag Anwendung finden, da technologische Verdichtungsverfahren wie Sprengverdichtung, Dynamische Intensiv-Verdichtung usw. aus Gründen der hohen Initialeinträge als auch der Wirtschaftlichkeit ausscheiden.

Für die vorhandene Situation beträgt das erforderliche Volumen der Massenaufträge im Planungsabschnitt F ca. 26.000 m³.

Sicherungsvarianten – Sicherung der bestehenden Gebäude

Im Bereich F sind folgende Bebauungen vorhanden:

- Hotelanlage Flurstück 15/7 mit Nebengebäuden,
- Gewerbeeinrichtung, Ferienwohnungen und Wohnhaus Flurstücke 15/17, 15/18 und 15/20,
- diverse Bungalows.

In der Variantendiskussion der Vorplanung wurden folgende Sicherungsvarianten betrachtet:

- Sicherung Gründung mittels Düsenstrahl-Hochdruckinjektions-Säulen,
- Sicherung Gründung mittels Kleinbohrpfählen und konstruktiver Verbindung zum Gebäude,
- Sicherung der flurnahen Kippenbereiche in Gebäudenähe mittels Stützscheiben aus Erdbeton,
- Mineralisation/Kornverkittungen mittels Niederdrucklanzen und Injektion von Natriumsilikatgel,
- Schauminjektionen,
- Einsatz von Drändochten als Porenwasserdruckbarrieren.

Die Verfahren Injektion von Natriumsilikatgel, Schauminjektion und Drändochte sind noch nicht umfassend im speziellen Anwendungsbereich der Kippensanierung eingesetzt worden bzw. befinden sich teilweise in diesen Einsatzbereichen in der Erprobung. Zur Funktionalität des Einsatzes von Drändochten als Porenwasserdruckbarrieren erfolgt derzeit eine Felderprobung an der TU Bergakademie Freiberg.

Als Sicherungsvariante wird oft das Düsenstrahl- bzw. Hochdruckinjektions-Verfahren betrachtet. Mit diesem Verfahren, das im Allgemeinen als Hochdruckinjektionsverfahren bezeichnet wird, werden über die Erstellung von Hochdruckinjektionsvermörtelungssäulen die Gründungselemente bzw. Fundamente unterfangen. Die Technologie gestattet eine gute Anpassung an die örtlichen Verhältnisse. Die Problematik bei dem Verfahren ist die Herstellung und Ausbildung der Säulenkontur im grundwassergesättigten Bodenbereich. So sind durch den Einsatz des Hochdruckstrahles lokale Verflüssigungen nicht auszuschließen. Der Injektionserfolg kann nicht hinreichend nachgewiesen werden. Probesäulen können aufgrund der Geländeverhältnisse und örtlichen Randbedingungen nicht ausgegraben und geprüft werden. Hierfür wurden spezielle Verfahren zur Sondierung des Säulendurchmessers insitu entwickelt. Das Verfahren der Baugrundverbesserung mittels Hochdruckinjektion ist für den Anwendungsfall der Gebäudesicherung im Planungsabschnitt F sehr kostenintensiv.

Im Planungsbereich F existieren Wirtschaftsgebäude, deren Unterkellerungen im späteren Grundwasserniveau liegen. Für diese müssen Nutzungseinschränkungen ausgesprochen werden. Entsprechend können diese Bereiche teilweise nicht betreten werden.

Da bezüglich des Düsenstrahlverfahrens entsprechende Erfahrungen verfügbar sind und alle anderen in der Vorplanung betrachteten Varianten sich entweder noch in der Erprobung befinden oder keine Erfahrungen für den Einsatz innerhalb von Kippenböden vorliegen und diese entsprechend mit teilweise hohen Risiken behaftet sind, wird in der weiteren Kostendiskussion vorerst nur das Düsenstrahlverfahren für die Sicherung der Gebäude betrachtet. Die Hochdruckinjektion wird für die zu sichernde Bebauung als einzig mögliche und zielführende Variante betrachtet ([2]).

Die Gefährdung gegenüber Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung wird mittels Massenauftrag zur Gewährleistung eines ausreichenden Grundwasserflurabstandes nach anerkanntem Stand der Technik beseitigt.

Zur Beurteilung der Gründungssituation der vorhandenen Bebauung sind in 2012 geotechnische Untersuchungen durchgeführt worden. Anhand der Ergebnisse der realisierten Aufschlüsse wurden u.a. folgende Bewertungen getroffen:

Flurstück 15/7 (gemäß [13]):

- Die Gebäudegründung entspricht hinsichtlich ihrer Tiefe und Ausführung nicht dem anerkannten Stand der Technik. Es liegt weder eine ausreichende Einbindetiefe in den Baugrund vor,

noch ist die Gründung frostsicher. Die Gründung entspricht ebenfalls nicht den üblichen Grundsätzen für sicheres Bauen auf Kippen.

- In Bezug auf den zu erwartenden Grundwasserflurabstand von ca. 1,5 m bis 2,0 m ist festzustellen, dass insbesondere nördlich des Gebäudebereiches Aufhöhungen zur Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung von 2,0 m zu berücksichtigen sind. Hierbei sind Änderungen der statischen Lastverhältnisse zu erwarten.

- Das Gründungsniveau des Hauptgebäudes liegt ca. 1,3 m oberhalb des maximalen Kippengrundwasserspiegels.

- Die Unterkellerung des Wirtschaftsgebäudes liegt innerhalb des späteren Grundwasserniveaus.

- Die festgestellten Risse am Gebäude sind auf bauliche Mängel zurückgeführt worden. Es ist zu bemerken, dass auch die unzureichende Ausbildung der Gebäudegründung in Zusammenhang mit dem lockeren Kippenuntergrund zu Rissbildungen geführt haben kann.

- Während im statischen Fall die Grundbruchsicherheit als ausreichend einzuschätzen ist, kann für den prognostizierten Kippengrundwasserstand und den Verflüssigungsfall der locker gelagerten wassergesättigten Kippenböden infolge eines Initialeintrages keine ausreichende Grundbruchsicherheit angenommen werden. Bei geplanter Weiternutzung des Gebäudes sind Sicherungsmaßnahmen im Anschluss an die Ufersicherung des Knappensees unbedingt vorzusehen.

Flurstücke 15/17, 15/18 und 15/20 (gemäß [7]):

- Die Gründung der Gebäude entspricht hinsichtlich ihrer Ausführung mit vermutlich unbewehrten Streifenfundamenten nicht dem anerkannten Stand der Technik für sicheres Bauen auf Kippen.

- Die Einbindetiefe in den Baugrund ist bis auf die nachträglich errichtete Außenwand des Wohnhauses als ausreichend anzusehen. Die Frostsicherheit der Gründung ist aufgrund der ermittelten Gründungstiefen gegeben. Die Gründung der vorgesetzten Außenwand ist aufgrund des dokumentierten Überstandes des Altfundamentes ebenfalls als frostsicher anzusehen.

- Die Trasse des RDV-Dammes im Bereich G Süd reicht bis ca. 60 m an die Bebauung heran. Die Gebäude befinden sich demnach in einem Bereich, in dem Schäden durch Erschütterungen in Zusammenhang mit der Tiefenverdichtung nicht auszuschließen sind.

Auf Grundlage der Vorplanung, der Bewertung der Gründungssituation und der daraus resultierenden Kostenschätzung für die Gebäudesicherung bzw. den -abriss wurden seitens der LMBV mbH Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ausgeführt, die die Ableitung einer Vorzugsvariante für diese Bebauung ermöglichten.

In der Anlage 5.7.1 sind diese Kostenbetrachtungen der Sicherungen der bestehenden Gebäude des Bereiches F ersichtlich.

Die Tabelle 60 zeigt hierfür die Kostenschwerpunkte zusammenfassend auf.

Tabelle 60: Kosten (Kostengruppen) Bereich F Variante 1 Gebäudesicherung und Geländeaufhöhung

Bezeichnung Kostengruppe	Kosten [€]
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung)	XXXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen (Abriss)	XXXXXXXX
Erdbau	XXXXXXXX
Sicherung von Gebäuden (Flst. 15/7, 15/17, 15/18 und 15/20) mittels Düsenstrahl-Verfahren	XXXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXXX
Summe netto	XXXXXXXX

Alternativ zu einer Sicherung der bestehenden Gebäude erfolgen die Betrachtung des Abrisses der Gebäude und eine Sicherung der Gefährdung gegenüber Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung mittels Massenauftrag/Erdbau.

Die Kostenaufgliederung für die Variante 2 sind in Anlage 5.7.2 ersichtlich. In Tabelle 61 sind die Summen der Kostenschwerpunkte aufgeführt.

Tabelle 61: Kosten (Kostengruppen) Bereich F Variante 2 Abriss und Geländeaufhöhung

Bezeichnung Kostengruppe	Kosten [€]
Baustelleneinrichtung, Sicherungsmaßnahmen	XXXXXXXX
Flächenberäumung (Holzung)	XXXXXXXX
Baufeldberäumung von baulichen Anlagen (Abriss)	XXXXXXXX
Erdbau	XXXXXXXX
Landschafts- und Wegebau	XXXXXXXX
Mediensicherung	XXXXXXXX
Entschädigungen	XXXXXXXX
Allgemeine und sonstige Kosten (inkl. XXXXXXXX)	XXXXXXXX
Summe netto	XXXXXXXX

Auf Grundlage des vorgenommenen Kostenvergleichs fällt die wirtschaftliche Betrachtung eindeutig zugunsten eines Rückbaus der Bebauung Flurstücke 15/7, 15/17, 15/18 und 15/20 aus.

Als entscheidend sind dabei die Kostenintensität realisierbarer Sicherungsmaßnahmen sowie die hohen Aufwendungen für die Werterhaltung der Gebäude anzusehen. Die Abschätzung dieser Aufwendungen ist zudem stark risikobehaftet, da zum Beispiel das Düsenstrahl-/Hochdruckinjektions-Verfahren selbst Gebäudeschäden nach sich ziehen kann.

Zu beachten ist weiterhin, dass nach Sicherung des Bereiches F aufgrund der realisierten Maßnahmen (Holzung, Geländeaufhöhung) eine veränderte Geländesituation und damit ein stark veränderter Wert der für Erholungszwecke genutzten Objekte zu erwarten ist.

Als Vorzugsvariante wird für den Bereich F aus wirtschaftlicher und geotechnischer Sicht die Variante 2 (Abriss und Geländeaufhöhung) empfohlen.

7 Auswertung der Alternativenprüfung und Ableitung der Vorzugsvarianten

Im Kapitel 5 erfolgt die Ableitung der allgemein geeigneten technologischen Varianten, während in Kapitel 6 die bereichsweise Alternativenprüfung unter Berücksichtigung der Belange Dritter erfolgt. In deren Ergebnis werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Varianten zusammengestellt. Für die betrachteten Sicherungsvarianten wurden die zu erwartenden Kosten abgeschätzt und sind in Anlage 5 zusammengestellt.

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der bereichsbezogenen Variantenuntersuchungen zusammengefasst sowie Chancen und Risiken charakterisiert werden. Weiterführend erfolgt die Beschreibung der Vor- und Nachteile von Verknüpfungen verschiedener bereichsweiser Sicherungsvarianten.

Bereichsweise Kostenübersicht

Tabelle 62: Kostenübersicht der bereichsweisen Varianten

Bereich	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
A und B Nord	Versteckter Damm, seeseitig (RDV und LRV)	Versteckter Damm, seeseitig, Abtrag Kippenböden (RDV und LRV)	-	-
Summe	XXXXXXX	XXXXXXX	-	-
davon Entschädigungs-leistungen	XXXXXXX	XXXXXXX	-	-
B Süd*	Abtrag Kippenböden	-	-	-
Summe	XXXXXXX	-	-	-
davon Entschädigungs-leistungen	XXXXXXX	-	-	-
G, S und T	Versteckter Damm, seeseitig (RDV und LRV)	Versteckter Damm, landseitig (RDV und LRV)	-	-
Summe	XXXXXXX	XXXXXXX	-	-
davon Entschädigungs-leistungen	XXXXXXX	XXXXXXX	-	-
U	Versteckter Damm, seeseitig (RDV und LRV)	Versteckter Damm, landseitig, Vorland-sicherung (RDV, sSPV und LRV)	Versteckter Damm, landseitig, Vorland-sicherung (RDV und LRV)	Versteckter Damm, landseitig, Vorland-sicherung, kein seeseitiger Aushub (RDV und LRV)
Summe	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX
davon Entschädigungs-leistungen	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX
D Ost	Versteckter Damm, seeseitig (RDV und LRV)	Versteckter Damm, landseitig (RDV und LRV)	-	-
Summe	XXXXXXX	XXXXXXX	-	-
davon Entschädigungs-leistungen	XXXXXXX	XXXXXXX	-	-
D Mitte	Versteckter Damm, seeseitig (LRV)	Aushub der Kippenmaterialien	-	-
Summe	XXXXXXX	XXXXXXX	-	-
davon Entschädigungs-leistungen	XXXXXXX	XXXXXXX	-	-

Bereich	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
D West	Versteckter Damm, seeseitig (RDV und LRV)	Versteckter Damm, landseitig (RDV und LRV)	Versteckter Damm, landseitig (RDV, landseitige Profilierung)	-
Summe	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX	-
davon Entschädigungs-leistungen	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX	-
F	Gebäudesicherung und Geländeaufhöhung	Abriss und Geländeaufhöhung	-	-
Summe	XXXXXXX	XXXXXXX	-	-
davon Entschädigungs-leistungen	XXXXXXX	XXXXXXX	-	-

* Darlegung Bereich B Süd zur Vervollständigung

Eine Summation der Kostenschätzungen für die untersuchten Sicherungsvarianten (Bereiche A, B (Nord, Süd), G, S, T, U, D (Ost, Mitte, West), F) hinsichtlich der geringsten und höchsten Kosten der jeweiligen Bereiche zeigt ein Kostenvolumen von XXXXXXXXXXXXX.

Jedoch sind die in den Kosten enthaltenen technologischen Risiken nur teilweise quantifizierbar (zum Beispiel Berücksichtigung von Zugabemassen bei der seeseitigen RDV).

Einen deutlichen Anteil nehmen die Entschädigungskosten sowie die Aufwendungen für Beweissicherung und Werterhaltung ein. Während die rein technischen Leistungen relativ eng beieinander liegen, weisen diese Kosten teilweise weit gefächerte Wertebereiche auf. Grundlage bilden dabei die definierten Pauschalen für die Entschädigungsleistungen für Nutzungsausfall (jährlicher Kostenanteil) oder für Abriss (einmaliger Kostenanteil). Der Verhältniswert von Entschädigung für Nutzungsausfall zu Abriss beträgt dabei 1 : 25. Dies bedeutet, dass die Entschädigungskosten für den jährlichen Nutzungsausfall für einen Bungalow oder Dauerwohnsitz nach 25 Jahren der Entschädigung für einen Abriss entsprechen.

Nicht ausweisbar sind in den bereichsweise aufgeführten Kostenschätzungen Synergien, die sich aus einer parallelen Abarbeitung einzelner Uferabschnitte ergeben können.

Neben Einsparpotential in den Kosten besteht teilweise auch ein erhebliches Risikopotenzial, das bei einzelnen Varianten ebenfalls nicht ausweisbar ist. Hier ist beispielweise die Beschädigungsgefahr von Gebäuden im Sperrbereich, die infolge von Instabilitäten einen erheblichen bzw. auch vollständigen Schaden erleiden können und folglich zusätzlich zu entschädigen wären, zu sehen.

Ein weiteres Risiko ergibt sich aus den zeitlich eng aufeinander folgenden seeseitigen Arbeiten. Bereits geringste Verzögerungen, z. B. infolge von Instabilitäten, können in den nachfolgenden Arbeitsschritten einen erheblichen zeitlichen Verzug bis hin zu Stillständen der folgenden Technik nach sich ziehen. Insgesamt ist den seeseitigen Arbeiten ein höheres Ausführungsrisiko zuzuweisen.

Anhand der in Kapitel 6 geführten Detailbetrachtung von Alternativvarianten wird deutlich, dass keine für den Knappensee allgemeingültige Vorzugsvariante (wie z. B. die Herstellung der Versteckten Dämme nur in seeseitiger oder landseitiger Ausführung) abgeleitet werden kann. Die Ableitungen sind immer bereichsspezifisch zu betrachten.

<u>Bewertung der zeitlichen Abfolge der Sicherungsarbeiten</u>

Grundlage der zeitlichen Charakterisierung des vorhandenen Planungsstandes stellt der vorliegende Gesamtbauzeitenplan [15] dar. Davon abgeleitet, wird überschlägig in folgender Tabelle geprüft, welche Zeitersparnisse durch die parallele Umsetzung der Herstellung des versteckten Dammes mittels seeseitiger und landseitiger Varianten bestehen.

Tabelle 63: Übersicht über Sperrzeiten (Grundlage - Zeitplan)

Bereich	Zeitansatz Sperrbereich* Variante 1 [15]	Mögliche Parallele Bearbeitung zu seeseitiger Umsetzung in anderen Bereichen (Variante)	Alternativvariante Bereichsbezogener Sperrbereich	Abschätzung Gesamtsperrzeit bei paralleler Bearbeitung**
A und B	1,0 Jahre	-	-	-
G, S und T	3,0 Jahre	Variante 2	Variante 2: 5 Jahre	Variante 1
U	3,0 Jahre	Varianten 2, 3, 4	Varianten 2, 3, 4: 3 Jahre	Variante 4
D Ost	4,0 Jahre	Variante 2	Variante 2: 4 Jahre	Variante 2
D Mitte	2,5 Jahre	Variante 2	Variante 2: 0,5 Jahre	Variante 2
D West	6,0 Jahre	Varianten 2, 3	Variante 2: 6 Jahre Variante 3: 4,5 Jahre	Variante 3
F	4,0 Jahre	-	-	-
Sicherungszeit	**Gesamt: 7,5 Jahre Bebauung - G, S, T: 3 Jahre**	-	-	**Gesamt: 7,5 Jahre Bebauung - G, S, T: 3 Jahre**

* nur für Bebauung relevante Sperrzeit auf Grundlage von [15],

** unter Voraussetzung, dass zusätzlich bei Bearbeitung von U und D Ost die Arbeiten in D West ausgeführt werden

Wie in der Unterlage [15] ersichtlich, wird je Abschnitt nicht ein Sperrbereich wirksam, sondern die Einrichtung des Sperrbereiches erfolgt phasenweise. In Abhängigkeit vom jeweiligen Bearbeitungsstand wird dieser in Richtung Ufer verkleinert oder angepasst.

Für die an dieser Stelle durchgeführte zeitliche Betrachtung (Tabelle 63) wird nur die für die Bebauung relevante Sperrzeit berücksichtigt. Daraus folgt, dass auch nach dieser angegebenen Zeitspanne das Ufer noch innerhalb der Sperrfläche liegen kann.

Weiterführend kann auch in einem Abschnitt, wie es beispielsweise im Uferabschnitt T der Fall ist, innerhalb der Siedlungsfläche Knappenhütte der Sperrbereich nach Teilsicherungsarbeiten verschoben werden. Dieser Sachverhalt ist mit der hier geführten Variantenbetrachtung (Planungstiefe Vorplanung) nicht erfasst. Für die grundlegende Betrachtung sind die Aussagen jedoch ausreichend.

Die zeitliche Betrachtung zeigt deutlich, dass sich die Sperrzeiten auch bei paralleler Bearbeitung nicht in Größenordnungen von Jahren ändern. Jedoch ist zwingend darauf zu verweisen, dass mit Umsetzung der landseitigen Varianten das zeitliche Risiko von Verlängerungen der Sperrzeiten durch Havarien grundsätzlich verringert wird. Darüber hinaus ist zu betonen, dass die Tabelle mit den aufgeführten Zeiten nur eine grobe Übersicht geben kann. Nach Ableitung und Bestätigung der Vorzugsvarianten für die einzelnen Uferabschnitte kann die Bauzeitenplanung entsprechend aktualisiert werden. Erst mit dieser Aktualisierung steht eine belastbare Zeitplanung für die Abarbeitung der einzelnen Böschungsbereiche am Knappensee zur Verfügung.

Jedoch ist zu erwarten, dass die zeitlichen Optimierungsmöglichkeiten dabei durch das Ausmaß der erforderlichen Maßnahmen stark begrenzt sein werden.

Da die Sicherungsarbeiten Initialeinträge in den ungesicherten Kippenboden beinhalten, sind Havarien und Rutschungsvorgänge trotz Anwendung der Sicherheitsfahrweise mit der Überwachung der Porenwasserdruckentwicklung nicht vollständig ausschließbar.

Eine Parallelbearbeitung von landseitigen und seeseitigen Varianten weist positive und negative Aspekte auf, die im Folgenden aufgeführt werden sollen.

Vorteile Parallelbearbeitung:

- zeitliche Optimierung und Verringerung der zeitlichen Betroffenheiten Dritter,
- Nutzung von Synergien – Massenlogistik (beispielsweise seeseitiger Massenaushub) über verschiedenste Bereiche,
- Weiterführung der Arbeiten bei punktuellen Stillständen an verschiedenen Betriebspunkten möglich,

Nachteile Parallelbearbeitung:

- hohe Anforderung an Koordinierung der Leistung und Logistik,
- Schaffung von Abhängigkeiten zwischen der Ausführung der einzelnen Bereiche,
- Wegfall von Synergien (wie beispielsweise Umsetzen von Schilf),
- hohes Kostenrisiko bei durch „großräumige Ereignisse“ verursachten Stillständen,

Vorzugsvarianten

Auf Grundlage der geführten Variantenbetrachtung, unter Berücksichtigung der Betroffenheiten sowie der verbal definierten Chancen und Risiken, werden aus technologischer Sicht folgende Vorzugsvarianten empfohlen:

Tabelle 64: Kostenübersicht der Vorzugsvarianten

Bereich	Vorzugsvariante	Kosten [€]	Bemerkung / Begründung
A und B Nord	Variante 2: seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes (verkürzt) und Abtrag der Kippenböden im nördlichen und südlichen Bereich des Abschnittes	XXXXXXX	Auswahl der Variante 2 auf Grundlage der günstigeren Einwirkungsverhältnisse auf das Auslaufbauwerk
B Süd	Variante 1: Abtrag Kippenböden	XXXXXXX	Einzig sinnvolle Variante (s. Pkt. 6.1.1), Angabe erfolgt zur Vervollständigung der Kostenübersicht
G, S und T	Variante 1: seeseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV, Herstellung Trittsicherheit (LRV), Profilierung Hinterland / Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbautechnik	XXXXXXX	Auswahl der Variante 1 aus Kostengründen sowie Aspekten der Bauzeit und des Bauablaufes, Ausmaß der Betroffenheiten

Bereich	Vorzugsvariante	Kosten [€]	Bemerkung / Begründung
U	Variante 4: landseitige Herstellung des Versteckten Dammes und Vorfeldsicherung mittels RDV, kein seeseitiger Abtrag	XXXXXXX	Auswahl der Variante 4 auf Grundlage der Risikoverhältnisse, sowie geotechnischen und technologischen Aspekten gegenüber den anderen Varianten
D Ost	Variante 2: landseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV und RSV, Vorfeldsicherung / Herstellung Trittsicherheit mittels LRV	XXXXXXX	Auswahl der Variante 2, da technologische Umsetzung das gesamte Hinterland gegen Verflüssigung sichert und ein bebauungsfähiger Untergrund entsteht, Variante wird kostengünstiger geschätzt
D Mitte	Variante 2: Aushub der verflüssigungsgefährdeten Kippenmaterialien	XXXXXXX	Auswahl Variante 2 aus Gründen der umfangreichen Beseitigung der Verflüssigungsgefährdung, Kostengründen und Risikoverhältnissen
D West	Variante 3: landseitige Herstellung des Versteckten Dammes mittels RDV mit landseitiger Profilierung, Profilierung Hinterland / Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbautechnik	XXXXXXX	Auswahl Variante 3 aus Kostengründen sowie Massenbilanz
F	Variante 2: Abriss der Gebäude / Herstellung einer ausreichenden erdfeuchten Überdeckung mittels Erdbautechnik	XXXXXXX	Auswahl Variante 2 aus Kostengründen sowie Risiko der Sicherungsarbeiten der Variante 1
Summe	Vorzugsvarianten der betrachteten Sicherungsvarianten	XXXXXXX	

Die Summation der Kostenschätzungen für die Vorzugsvarianten der Bereiche A, B (Nord, Süd), G, S, T, U, D (Ost, Mitte, West) und F ergibt Kosten in Höhe von ca. XXXXXXX Davon sind ca. XXXXXXX an Entschädigungsleistungen abzuschätzen.

Sicherungskosten für die Inseln (Bereich C) sind gemäß [5] nicht berücksichtigt.

8 Empfehlung der weiteren Vorgehensweise

Während die bereichsweise Darlegung von Alternativvarianten und in deren Folge die Festlegung der Vorzugsvarianten der Sicherung der einzelnen Uferbereiche erfolgt ist, gestaltet sich die Detailbetrachtung der Abläufe sehr komplex. Hieraus ergibt sich aber die Notwendigkeit der Definition der konkreten Auswirkung auf die Betroffenheiten Dritter.

Für die weitere Vorgehensweise empfehlen wir folgende Punkte:

1) Nach Abstimmung der Vorzugsvarianten sollte eine Detailbetrachtung des möglichen Bauablaufes erfolgen.

2) Planungsanpassungen der Entwurfsplanungen an die Definition der Vorzugsvarianten und Ergebnisse des Punktes 1.